

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación del proceso de nixtamalización a presión en tres tipos de maíz, *Zea mays*, y su influencia en las propiedades funcionales de la tortilla

Trabajo de investigación presentado por

Jorge Alberto Salazar Cap

para optar al grado académico de

Maestría en Tecnología de Alimentos y Gestión

Guatemala

2018

Evaluación del proceso de nixtamalización a presión en tres tipos de maíz, *Zea mays*, y su influencia en las propiedades funcionales de la tortilla

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Evaluación del proceso de nixtamalización a presión en tres tipos de maíz, *Zea mays*, y su influencia en las propiedades funcionales de la tortilla

Trabajo de investigación presentado por
Jorge Alberto Salazar Cap
para optar al grado académico de
Maestría en Tecnología de Alimentos y Gestión
Guatemala

2018

Vo Bo.:

(f) Ana Silvia Colmenares de Ruiz

MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Tribunal examinador

(f) Ana Silvia Colmenares de Ruiz

MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f) Marializ Gramajo Rodríguez

Dra. Marializ Gramajo Rodríguez

(f) Patricia Palacios de Palomo

Msc. Patricia Palacios de Palomo

Fecha de aprobación: Guatemala, 02 de abril de 2018. ✓

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
RESUMEN	xv
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
A. Maíz	3
1. Componentes y composición del grano de maíz.....	3
a. Estructura del grano.	3
b. Pericarpio.	3
c. Germen.....	4
d. Endospermo.	4
e. Pedículo.....	4
2. Calidad del maíz.....	4
a. Muestreo.....	6
b. Densidad.....	6
c. Dureza del grano.	6

d. Humedad.....	6
B. Nixtamalización.....	7
1. Humedad del nixtamal y masa.....	8
2. Pericarpio remanente.....	9
3. Adhesividad y elasticidad.....	9
4. Cambios en el maíz.....	10
5. Cambios estructurales en el grano de maíz.....	10
6. Absorción de agua y calcio.....	11
7. Pérdidas de materia seca.....	11
C. Tortilla.....	11
1. Textura.....	11
a. Rolabilidad.....	12
b. Flexibilidad.....	12
c. Fuerza a la tensión.....	12
d. Elasticidad y elongación.....	12
e. Fuerza al corte.....	13
2. Color.....	13
3. Evaluación sensorial.....	14

a. Pruebas cuantitativas de consumo	14
b. Prueba hedónica (escala de nueve puntos)	14
D. Equipo para realizar el proceso	16
1. Cocedor de maíz.....	16
2. Molino de nixtamal	17
3. Máquina para hacer tortillas.....	17
III. JUSTIFICACIÓN	19
IV. OBJETIVOS	21
A. General	21
B. Específicos	21
V. METODOLOGÍA	22
A. Adquisición del maíz.....	24
1. ICTA B-9.	24
2. Maíz criollo del altiplano.	24
3. Monsanto DK 390.....	24
B. Pruebas de calidad del maíz	24
1. Impurezas y granos quebrados.	24
a. Instrumentos	24

b. Procedimiento	25
1) Impurezas.....	25
2) Granos quebrados.	25
3) Clasificación del maíz por determinación de daños.	25
2. Determinación de otros daños.....	25
a. Procedimiento.....	25
b. Resultados de la prueba.....	25
3. Humedad.	26
4. Peso hectolítrico.....	26
5. Peso de mil granos.	26
6. Parámetros de nixtamalización	26
a. Cocción óptima nixtamalización.....	26
b. Cocción óptima nixtamalización a presión.	27
c. Índice de flotación.	28
d. Pericarpio remanente.....	28
C. Procedimientos de nixtamalización.....	30
1. Procedimiento de nixtamalización tradicional.	30
2. Procedimiento de nixtamalización utilizando presión.	31

D. Molienda	31
E. Troquelado y cocción	31
F. Evaluación de la masa.....	32
1. Descripción del mecanismo.	32
2. Procedimiento.	32
G. Textura de la tortilla	33
1. Tensión y corte.....	33
a. Elasticidad hasta la fuerza máxima y elongación.....	33
b. Elasticidad.....	33
c. Fuerza al corte.	34
2. Rolabilidad y flexibilidad.....	34
H. Calidad en el almacenamiento	35
I. Color	35
J. Análisis sensorial.....	35
K. Análisis estadístico.....	37
L. Costo.....	37
1. Gas.	37
2. Energía eléctrica.....	37

3. Mano de obra	38
4. Materia prima	38
5. Costo por tortilla	38
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
A. Pruebas de calidad del maíz	39
1. Impurezas y granos quebrados	39
2. Humedad, peso hectolítrico y peso de mil granos.....	39
B. Parámetros de nixtamalización.....	40
1. Cocción óptima nixtamalización.....	40
2. Cocción óptima nixtamalización a presión	43
3. Índice de flotación.....	45
4. Pericarpio remanente.....	45
C. Evaluación de la masa	46
D. Textura de la tortilla	47
1. Tensión.....	47
2. Corte.....	48
3. Rolabilidad y flexibilidad subjetivas.....	48
E. Calidad en el almacenamiento	48

F. Color	62
G. Análisis sensorial	65
H. Costo	68
1. Gas.	68
2. Energía eléctrica.....	69
3. Mano de obra.	70
4. Materia prima	71
5. Costo por tortilla.	72
VII. CONCLUSIONES.....	73
VIII. RECOMENDACIONES	74
IX. BIBLIOGRAFÍA	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nixtamalización del maíz y preparación de tortillas	8
Figura 2. Curva fuerza a la tensión vs elongación (mm)	12
Figura 3. Coordenadas de color en el sistema Hunter lab.....	13
Figura 4. Ejemplo de boleta para prueba hedónica	15
Figura 5. Cocedor Alitech para nixtamalizar	16
Figura 6. Molino de piedras para nixtamal	17
Figura 7. Máquina para elaborar tortillas	18
Figura 8. Metodología.....	23
Figura 9. Escala de evaluación de remoción de pericarpio	29
Figura 10. Evaluación de remoción de pericarpio	29
Figura 11. Nixtamalización del maíz y preparación de tortillas, método tradicional	30
Figura 12. Prueba de evaluación de la masa	32
Figura 13. Prueba de evaluación de tensión de la tortilla.....	33
Figura 14. Prueba de evaluación al corte a la tortilla.....	34
Figura 15. Evaluación del color de la tortilla.....	35
Figura 16. Boleta para prueba hedónica.....	36
Figura 17. Humedad del nixtamal vs tiempo de cocimiento a 95.7°C.....	41
Figura 18. Pérdida de materia seca vs tiempo de cocimiento a 95.7°C	42
Figura 19. Humedad del nixtamal vs tiempo de cocimiento a presión de 16psi y 115 °C.....	43
Figura 20. Pérdida de materia seca vs tiempo de cocimiento a presión de 16psi y 115 °C	44

Figura 21. Humedad de la tortilla (%) vs día de almacenamiento	50
Figura 22. Fuerza máxima a la tensión de la tortilla (N) vs día de almacenamiento	55
Figura 23. Área de la curva a la fuerza máxima a la tensión de la tortilla (N.m) vs día de almacenamiento	56
Figura 24. Elasticidad a la tensión de la tortilla (N/m) vs día de almacenamiento	57
Figura 25. Elasticidad a la fuerza máxima de tensión de la tortilla (N/m) vs día de almacenamiento.....	58
Figura 26. Fuerza máxima al corte (N) vs día de almacenamiento.....	60
Figura 27. Área bajo la curva de fuerza máxima al corte (N.m) vs día de almacenamiento	61
Figura 28. Factor L, CIE para las tortillas de acuerdo a la variedad del maíz y el proceso utilizado (N, para indicar normal y P, para indicar presión)	62
Figura 29. Factor a, CIE para las tortillas de acuerdo a la variedad del maíz y el proceso utilizado (N, para indicar normal y P, para indicar presión)	63
Figura 30. Factor b, CIE para las tortillas de acuerdo a la variedad del maíz y el proceso utilizado (N, para indicar normal y P, para indicar presión)	64
Figura 31. Aceptación de la tortilla de acuerdo a la variedad de maíz y proceso (N, para indicar normal y P, para indicar presión)	66
Figura 32. Sabor de la tortilla de acuerdo a la variedad de maíz y el proceso (N, para indicar normal y P, para indicar presión)	66
Figura 33. Textura de las tortillas de acuerdo a la variedad de maíz y proceso (N, para indicar normal y P, para indicar presión)	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de nixtamalización	6
Cuadro 2. Impurezas, granos quebrados y daño por insectos	39
Cuadro 3. Humedad, peso hectolítrico y peso de mil granos por variedad de maíz	39
Cuadro 4. Humedad del nixtamal y pérdida de materia seca de acuerdo al tiempo de cocción a 95.7°C	40
Cuadro 5. Tiempo óptimo de cocción determinado por regresión lineal para cada variedad de maíz.....	42
Cuadro 6. Humedad del nixtamal y pérdida de materia seca de acuerdo al tiempo de cocción a presión de 16psi y 115 °C	43
Cuadro 7. Tiempo óptimo de cocción determinado por regresión lineal para cada variedad de maíz.....	44
Cuadro 8. Índice de flotadores	45
Cuadro 9. Remoción de pericarpio	45
Cuadro 10. Resultados de evaluación de la masa por medio del texturómetro.....	46
Cuadro 11. Resultados de la prueba biaxial de la tortilla a 2h de hacer la tortilla	47
Cuadro 12. Resultados de la prueba al corte a 2h de hacer la tortilla	48
Cuadro 13. Rolabilidad y flexibilidad subjetivas a 2h de hacer la tortilla	48
Cuadro 14. Rolabilidad subjetiva durante el almacenamiento.....	49
Cuadro 15. Flexibilidad subjetiva durante el almacenamiento	49
Cuadro 16. Humedad de la tortilla durante el almacenamiento	49
Cuadro 17. Resultados de la prueba biaxial de la tortilla a 24 h de hacer la tortilla	51
Cuadro 18. Resultados de la prueba al corte a 24 h de hacer la tortilla	51

Cuadro 19. Resultados de la prueba biaxial de la tortilla a 48h de hacer la tortilla	52
Cuadro 20. Resultados de la prueba al corte a 48h de hacer la tortilla	52
Cuadro 21. Resultados de la prueba biaxial de la tortilla a 72h de hacer la tortilla	53
Cuadro 22. Resultados de la prueba al corte a 72h de hacer la tortilla	53
Cuadro 23. Resultados de la prueba biaxial de la tortilla a 120h de hacer la tortilla	54
Cuadro 24. Resultados de la prueba al corte a 120h de hacer la tortilla	54
Cuadro 25. Resultados ANOVA factorial fuerza máxima a la tensión de la tortilla (N) vs día de almacenamiento	55
Cuadro 26. Fuerza máxima a la tensión (N) vs día de almacenamiento	55
Cuadro 27. Resultados ANOVA factorial área de la curva a la fuerza máxima a la tensión de la tortilla (N.m) vs día de almacenamiento	56
Cuadro 28. Área bajo la curva a la fuerza máxima a la tensión (N.m) vs día de almacenamiento	57
Cuadro 29. Resultados ANOVA factorial elasticidad a la tensión de la tortilla (N/m) vs día de almacenamiento	58
Cuadro 30. Elasticidad a la tensión (N/m) vs día de almacenamiento	58
Cuadro 31. Resultados ANOVA factorial elasticidad a la fuerza máxima de tensión de la tortilla (N/m) vs día de almacenamiento.....	59
Cuadro 32. Elasticidad a la fuerza máxima de tensión (N/m) vs día de almacenamiento	59
Cuadro 33. Resultados ANOVA factorial fuerza máxima al corte de la tortilla (N) vs día de almacenamiento	60
Cuadro 34. Fuerza máxima al corte (N) vs día de almacenamiento	60
Cuadro 35. Resultados ANOVA factorial área bajo la curva de fuerza máxima al corte de la tortilla (N.m) vs día de almacenamiento	62
Cuadro 36. Prueba de Tukey área bajo la curva de la fuerza máxima al corte (N.m) vs día de almacenamiento	62

Cuadro 37. Resultados ANOVA para el factor L, CIE	63
Cuadro 38. Resultados ANOVA para factor a, CIE.....	63
Cuadro 39. Resultados ANOVA para factor b, CIE	64
Cuadro 40. Factores CIE L*a*b* para las tortillas de acuerdo al proceso y maíz	64
Cuadro 41. Colores de las tortillas preparadas.....	65
Cuadro 42. Resultados ANOVA para la aceptación	65
Cuadro 43. Resultados ANOVA para el sabor de las tortillas	67
Cuadro 44. Resultados ANOVA para la textura de la tortilla.....	67
Cuadro 45. Resultados de la prueba sensorial de las tortillas	68
Cuadro 46. Consumo de gas L. P. para la masa obtenida de la nixtamalización de 600lb de maíz (272.16kg).....	68
Cuadro 47. Costo (Q) del consumo de gas utilizado para procesar 600lb de maíz (272.16kg)	68
Cuadro 48. Tiempo de uso de equipos	69
Cuadro 49. Potencia de motores por equipo	69
Cuadro 50. Costo (Q) por el uso de energía eléctrica de los equipos	69
Cuadro 51. Personal requerido por proceso	70
Cuadro 52. Tiempos de proceso (h) por actividad para 600 libras de maíz (272.16kg)	70
Cuadro 53. Costo de mano de obra (MO) para procesar 600 libras de maíz (272.16kg).....	71
Cuadro 54. Costo de materia prima y empaque, para la tortilla procesada.....	71
Cuadro 55. Costo unitario de la tortilla (Q/lb)	72

RESUMEN

En Guatemala el consumo de los derivados del maíz es una de las bases de alimentación de la población, representando para el año 2016 una producción de 40.9 millones de quintales en grano, y una importación de 1.37 millones para el mismo año. Esto satisface las necesidades del consumo humano, estando presente el maíz y sus derivados por el 93% de los hogares (Informe situación del maíz blanco, 2016) (Menchú T., 2011). El procesamiento de dicho maíz se realiza en su mayoría, en hogares para el autoconsumo o en tortillerías locales, utilizándose el proceso ancestral heredado. A nivel industrial, los mayores cambios en el proceso y su efectividad se deben a las condiciones de proceso específicas y al uso de híbridos de maíz que no están al alcance del pequeño productor (L. W. Rooney, 1999). Se reconoce la necesidad de reducir tiempo, costo o energía utilizados para el procesamiento del maíz y se ha investigado acerca de algunas alternativas (Bressani, 1990), dando resultados que no producen tortillas que el consumidor acepte.

Khan *et al* (1982) evaluaron tres procedimientos: el tradicional, comercial y a presión. Concluyen en dicho estudio que las características de la tortilla obtenida por el proceso tradicional superan las de los otros dos métodos. Los mayores inconvenientes encontrados para los procesos alternativos consisten en la consistencia pegajosa, indeseable para el proceso de formación de la tortilla, y para el consumidor.

En este estudio, se caracterizaron tres tipos de maíz encontrados comercialmente en la ciudad de Guatemala y luego se evaluó un proceso de nixtamalización alternativo, basado en el tradicional. Se compararon parámetros de la masa y tortilla, utilizando métodos objetivos desarrollados por otros autores (Arámbula Villa G., 2004), (Ramirez Wong B., Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation, 1993). Luego se comparó el costo de la producción de tortillas para los procesos evaluados. Esto permitió una evaluación objetiva de los procesos al incluir la viabilidad económica. La evaluación de parámetros sensoriales permitió definir la viabilidad del producto terminado para el consumo. Abarcado integralmente, podría significar una opción viable para el productor de tortilla de maíz, y cuyo producto sea aceptado por sus propiedades organolépticas.

I. INTRODUCCIÓN

El uso del maíz y su transformación a productos que son fuente de alimentación es una realidad desde tiempos ancestrales. Se sugiere que desde hace 2,000 años fue cultivado y utilizado como alimento diario, siendo base energética para el desarrollo de culturas como la Azteca y Maya (Rodríguez García M. E., 2008).

Aunque no se comprende completamente la forma en que las civilizaciones mesoamericanas escogieron el proceso de nixtamalización para procesar el maíz, existe variada información disponible acerca de las razones para su adopción. Entre estas la remoción de la cáscara, inactivación de toxinas, incremento de disponibilidad de niacina, incremento de calcio. Aunque no entendieran exactamente los efectos positivos del proceso, al no utilizarse el proceso, se hacían evidentes los efectos negativos (Bressani, 1990).

Bressani (1990) describe el proceso tradicional de nixtamalización, refiriéndose al usualmente encontrado en las áreas rurales, aclarando que los tiempos de cocimiento, reposo y concentración de cal varían. A nivel industrial la transformación de maíz a harina instantánea para hacer masa se ha expandido en Latinoamérica, aunque en principio se basa en el procedimiento tradicional.

Se reconoce que la nixtamalización es un proceso que consume un alto grado de energía, tiempo y cuyas aguas residuales son contaminantes. Cualquier mejora que disminuya cualquiera de estos factores es ventajosa (Bressani, 1990).

Se han evaluado varios métodos de cocimiento alcalino. Entre estos, Khan *et al* (1982) evaluaron tres procedimientos: el tradicional, comercial y a presión. Concluyen en dicho estudio que las características de la tortilla obtenida por el proceso tradicional superan las de los otros dos métodos. Los mayores inconvenientes encontrados para los procesos alternativos consisten en la consistencia pegajosa, indeseable para el proceso de formación de la tortilla, y para el consumidor.

Otros procesos evaluados incluyen reposos cortos o ausencia de los mismos, como la extrusión (L. W. Rooney, 1999). Según estos autores, ninguna variante ha sido especialmente exitosa. Aunque otros autores indican que el proceso de extrusión da resultados positivos comparables a la tortilla preparada tradicionalmente (Bressani, 1990)

Aunque todos estos procesos han sido estudiados, desde la caracterización hasta la nixtamalización, en las áreas rurales sigue practicándose el procedimiento tradicional, y la evaluación sensorial es más bien una experiencia aprendida por las personas que elaboran tortillas.

Se encuentra oportunidad en la nixtamalización a presión, como una alternativa utilizada en México, y que permite la evaluación de la misma desde un punto de vista práctico, enfocada para la industria manufacturera de tortillas.

Partiendo de la caracterización del maíz encontrado en el mercado nacional, se realizará la nixtamalización a presión, incluyendo la molienda, formado y cocimiento de la tortilla, a modo de comparar las diferencias encontradas con el proceso tradicional.

II. MARCO TEÓRICO

A. Maíz

El Maíz pertenece a la familia *Gramineae* y a la tribu *Tripsaceae* (*Maydeae*). Las espigas de los pistilos del gen *Zea* crecen juntas formando una oreja; solo la especie *mays* está incluida en el gen. La evidencia más temprana de maíz se remonta a hace 7,000 años en el centro de México. 2,000 años después ya iniciaba a ser el cereal único que es ahora, siendo la base de las civilizaciones Mesoamericanas y Andinas. Luego del trigo, el maíz es el principal grano cultivado en el mundo (Parades López O., 1983).

1. Componentes y composición del grano de maíz. A continuación, se describirán los componentes básicos del grano:

a. Estructura del grano. De acuerdo a sus características físicas, es clasificado en vítreo, dentado, dulce, pop, harinoso, y ceroso. Las características que distinguen la variedad son las diferencias en el endospermo. Los granos maduros están compuestos de cuatro partes principales: pericarpio, germen, endospermo y pedícelo. El pericarpio es la pared que une todas las capas celulares a la cubierta de la semilla. La pedícelo, donde el grano se une a la mazorca, a veces se puede perder en el almacenamiento.

b. Pericarpio. El grano de maíz está cubierto por una cutícula impermeable al agua. El pericarpio esta debajo de la cutícula, y es más grueso en la base y en la parte trasera de grano. La epidermis del pericarpio tiene una capa simple de células, cuyas paredes celulares son gruesas en la superficie exterior, con puntuaciones en el lado de la unión y delgadas en la superficie inferior. El mesocarpio ocupa la más larga porción del pericarpio. Las capas del pericarpio constituyen aproximadamente el 5.3% del peso del grano (Parades López O., 1983)

c. Germen. El germen del maíz dentado normal representa un 11.5% del peso del grano. El escutelo y el eje embrionario son las dos mayores partes del germen. El escutelo conforma el 90% del germen y guarda nutrientes movilizados durante la germinación; durante esta transformación, el eje embrionario crece para convertirse en un vástago. El escutelo contiene células ricas en aceite que tienen paredes celulares punteadas. De las azúcares presentes en el germen, cerca del 67% es glucosa.

d. Endospermo. La aleurona es una capa continua de células de pared gruesa con espacios intercelulares. Esto cubre el endospermo almidonado del germen, y está interrumpido sobre la capa hilar únicamente. Es más grueso en la parte trasera y lados del grano y más delgado en la parte superior y sobre el germen. Las células están llenas con gránulos ricos en proteína y contienen fitatos y minerales, así como los pigmentos que hacen que ciertas variedades parezcan azules, negras o moradas. El endospermo maduro de los granos de maíz dentado (82,3% del grano) está compuesto de regiones harinosas y córneas. El endospermo harinoso está caracterizado por células grandes, gránulos de almidón grandes y redondos y por una matriz proteínica delgada. El endospermo corneo tiene células pequeñas, pequeños gránulos de almidón y una densa matriz de proteínas. En el maíz dentado normal, el granulo de almidón contiene cerca del 27% de amilosa y 73% de amilopectina. La amilosa, esencialmente una molécula lineal, tiene alrededor de 1,000 unidades de glucosa; la amilopectina, una molécula ramificada, contiene cerca de 40,000 o más unidades de glucosa. Los híbridos comerciales consisten en 70% a 75% de amilosa, e incluso algunos consisten en únicamente amilopectina (Parades López O., 1983).

e. Pedícelo. Es una continuación del pericarpio, y contiene una parénquima floja y esponjosa. Representa cerca del 0.8% del peso del grano (Parades López O., 1983).

2. Calidad del maíz. La investigación de cocimiento de maíz se ha realizado en su mayoría con variedades de diferente endospermo, e inclusive en el mismo tipo de maíz se presentan variaciones significativas, lo que hace necesario tomar mediciones para diferenciar muestras de maíz con características similares (Khan M. N., 1982). Calidad de maíz se refiere a las características que los procesadores y los consumidores de alimentos exigen, como el rendimiento, propiedades físicas, químicas y tecnológicas, además de características fitosanitarias y nutrimentales. Las propiedades tecnológicas incluyen: la estabilidad en el almacenamiento, eficiencia de conversión a tortilla en este caso, como se ven afectados los productos en el proceso y las características de aceptabilidad del consumidor.

Las características físicas y químicas del grano de maíz determinan los parámetros de proceso y la calidad de la masa y tortilla, color y sabor. Las características fitosanitarias incluyen la ausencia de insectos y hongos (Bressani R., 2008). Para procesos industriales el grano proviene de varios productores, de diferentes localidades y variedades, que podrían tener diferente estructura, almacenamiento diferente que repercuten en la calidad del producto terminado. Se ha demostrado que la variedad del maíz impacta en el rendimiento reportándose variaciones tan importantes como 9.5 a 21.3% de pérdida para maíz blanco (Bressani R., 2008).

Las variedades de mayor peso o volumen presentan mejores características para la preparación de masa y tortilla, y se ha concluido que las variedades con endospermo duro o córneo requieren de cocción más prolongada, pero su cocción es más predecible que el maíz de endospermo suave. La dureza del endospermo depende de la relación amilosa/amilopectina y afecta la plasticidad de la masa (Bressani R., 2008). En cuanto a la concentración de cal, puede disminuir el tiempo de cocimiento, pero impacta en la aceptabilidad del producto terminado. La dureza es como se ha mencionado, de importancia para la nixtamalización por lo cual se han realizado varias investigaciones, sin embargo, los métodos no son prácticos. Se ha concluido que el índice de flotación resultó ser el más adecuado para determinar la dureza del grano de maíz. (Bressani R., 2008)

Las pérdidas de materia seca constituyen un buen indicativo de la calidad del maíz para la preparación de la tortilla, reportándose mayores pérdidas debidas a granos rotos o quebrados. Por lo que determinar el porcentaje de granos quebrados o dañados es indispensable para conocer la calidad del maíz (Bressani R., 2008). Algunas características de calidad del maíz para la producción de harina, tortilla y otros alimentos, de maíz nixtamalizado citadas por Bressani (2008) son:

- ✓ Maíz duro, poco dentado, alta proporción de endospermo duro
- ✓ Granos sanos, sin roturas e impureza
- ✓ Alta densidad del grano, alto peso de prueba, bajo porcentaje de granos flotadores
- ✓ Grano limpio de color brillante
- ✓ Grano blanco de olote blanco
- ✓ Pericarpio de fácil eliminación
- ✓ Baja pérdida de sólidos durante la nixtamalización
- ✓ Grano de maduración completa y natural
- ✓ Grano sin daño por exceso de secado
- ✓ Grano sin hongos o dañado por insectos

a. **Muestreo.** Una muestra representativa es la cantidad de granos que se obtiene por la homogeneización y reducción de la muestra compuesta y que representa en sí todo un lote (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002).

b. **Densidad.** Es el contenido de masa en un volumen y se expresa en kilogramos por hectólitro (kg/hl). También se le conoce como masa hectolítrica (peso hectolítrico). Para el caso de maíz blanco en la elaboración de tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizados de calidad comercial, se considera que el grano deberá tener una densidad mínima de 74 kg/hl (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002).

c. **Dureza del grano.** La dureza de los granos de maíz se ha definido como la fuerza necesaria para su rompimiento. El método de flotadores se basa en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto tales granos flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad, en la solución de nitrato de sodio (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002). El tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización está directamente correlacionado con los siguientes datos:

Cuadro 1. Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de nixtamalización

Granos flotantes	Dureza	Tiempo de cocción (min)
0-12	Muy duros	45
13-37	Duros	40
38-62	Intermedios	35
63-87	Suaves	30
88-100	Muy suaves	25

Fuente: (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002)

d. **Humedad.** Es fundamental conocer el contenido de agua en el maíz, dado que es un indicativo de la calidad microbiológica y tecnológica. Así mismo, es necesario vigilar la humedad en el alimento preparado, ya que niveles superiores al 8% favorecen la presencia de insectos y arriba del 14%, existe el riesgo de contaminación por hongos y bacterias (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1993).

Existen varios métodos para determinar el contenido de humedad en alimentos, sin embargo, la mayoría de los métodos por secado dan resultados óptimos si se sigue con cuidado la metodología. Estos métodos incluyen la determinación de la pérdida de peso debida a la evaporación de agua en el punto de ebullición o temperaturas cercanas a él. El método se basa en una determinación gravimétrica en la que se determina la diferencia de pesos obtenidos en una muestra antes y después de secarla a una temperatura constante (Ortiz Prudencio, 2006).

B. Nixtamalización

El proceso de nixtamalización ha sido descrito por varios autores. El proceso sigue el diagrama de flujo mostrado en la Figura 1, y las diferencias reportadas están más asociadas a los niveles de agua, cal y tiempo de cocimiento, que a los pasos específicos (Bressani, 1990). Este involucra agregar maíz entero y aproximadamente dos partes de solución al 1% de cal. La mezcla se calienta a 80°C durante 20 a 45 minutos con agitación dejándola reposar por un periodo de 8 a 14 horas.

Luego de este reposo se descarta el agua de color amarillo lechoso y se lava dos o tres veces con agua limpia, removiendo cascara, capsula y eliminando el exceso de cal y las impurezas que el grano pudiera tener. Al maíz cocido se le llama nixtamal, de donde proviene el nombre del proceso. La adición de agua y cal al proceso de cocción, remojo y lavado, ayudan a la remoción de la cascara de maíz (Bressani R., 2008).

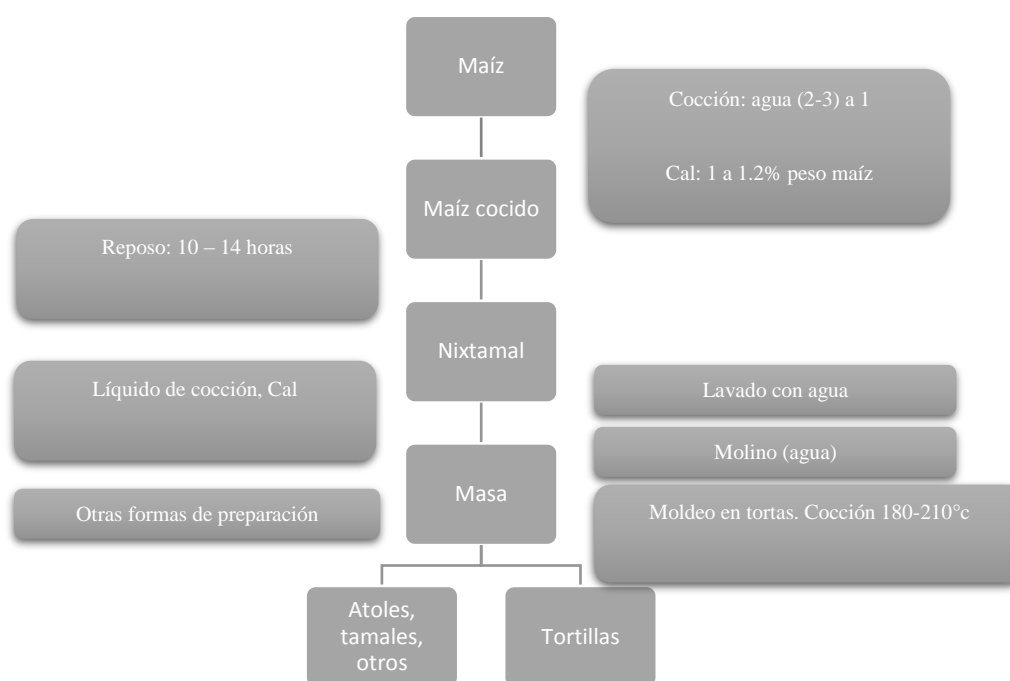
La conversión de nixtamal a masa se hace pasando el maíz por una piedra de moler plana. Se toman aproximadamente 50 gramos para formar tortillas, que se cocinan en un plato caliente de hierro o barro llamado comal. La masa contiene aproximadamente 54 – 56% de agua y la tortilla 45 – 55%.

Regularmente el plato o comal se salpica con agua que contiene cal en una concentración diluida, lo que facilita dar la vuelta a la tortilla para cocinarla de ambos lados. En este paso se forma vapor de agua dentro de la tortilla, abultándose la superficie que se cocinó primero.

Frecuentemente la presión del agua revienta la superficie, lo cual es indicativo que la tortilla ya está lista para removerla del comal y almacenarla, una sobre otra, en una canasta cubierta con una manta, para mantenerlas calientes y suaves, hasta el momento de su consumo.

La variabilidad de concentración de cal, tiempo de cocción y temperatura son características particulares de las familias, mientras que el tiempo de cocción y temperatura son atribuidos al tiempo de almacenamiento y a la etapa de madurez en que fue cosechado el maíz utilizado para el proceso y altitud sobre el nivel del mar en donde se cocina. Se hacen pequeños cambios en la cocción del maíz, puesto que, cuando es de cosecha reciente, se agrega poca cantidad de cal y se disminuye el tiempo de cocción de la tortilla. Cuando el grano es viejo y seco se agrega más cal y se aumenta el tiempo de cocción (Bressani R., 2008).

Figura 1. Nixtamalización del maíz y preparación de tortillas



Fuente: (Bressani R., 2008)

1. **Humedad del nixtamal y masa.** Una humedad del nixtamal deseada es de 48 a 50% debido a que la masa resultante tiene plasticidad aceptable, cohesividad y maquinabilidad. El contenido de humedad debe ser controlado para las aplicaciones específicas: el maíz para tortillas se cocina más (50 – 51% humedad), que el maíz utilizado para chips (46 – 48%), requiriéndose tiempos más prolongados de cocción para obtener más suavidad, flexibilidad, y rolabilidad en las tortillas (Serna Saldivar S. O., 1993).

2. **Pericarpio remanente.** Se refiere al pericarpio adherido al grano después de la nixtamalización (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002). La fácil remoción del pericarpio es criterio importante de calidad para el maíz que se utiliza para la producción de alimentos cocidos alcalinamente ya que su presencia afecta las propiedades del producto, además de sus características físicas como el color y la textura. El grado de pérdidas del pericarpio dependen del tipo y concentración de cal, del tiempo y temperatura de cocción y de la variedad del grano utilizado en el proceso (Serna Saldivar, 1991).

3. **Adhesividad y elasticidad.** Uno de los aspectos más críticos del proceso de tortillas es la textura de la masa. Cuando la masa tiene la textura adecuada, puede ser fácilmente moldeada en tortilla, mientras que una textura no cohesiva o pegajosa será inadecuada para la formación de la tortilla. La textura de la masa está determinada por factores como: la variedad de maíz, textura del endospermo y tipo, condiciones de secado e integridad del maíz, así como la absorción de agua y grado de gelatinización durante el procesamiento. De las condiciones de proceso más importantes a controlar está el tiempo de cocimiento y el grado de molienda. Durante el cocimiento alcalino, cambios físicos y químicos, como la gelatinización del almidón, absorción de agua y remoción parcial del germen y pericarpio, ocurren en el grano de maíz. Durante la molienda se separan los gránulos de almidón gelatinizados y se distribuyen el almidón hidratado y la proteína alrededor de la porción no gelatinizada del endospermo del maíz. Adicionalmente, la molienda brinda el tamaño final de partícula, debido a la fricción entre las piedras de molienda, causando mayor daño al almidón (Ramirez Wong B., Cooking time, grinding, and moisture content effect on fresh corn masa texture, 1994).

La textura de la masa es crítica para el proceso de fabricación de tortillas. Cuando la masa tiene la textura apropiada, se logra el balance entre adherirse apropiadamente y separarse de los rodillos formadores. De otra manera dos típicos problemas ocurren: El maíz sobrecocido produce masa pegajosa que se adhiere fuertemente a los rodillos, o 2) el maíz poco cocido produce masa no cohesiva que no es adecuada para la formación de tortillas. La adhesividad o pegajosidad es usualmente evaluada como la máxima tensión desarrollada durante la adhesión o como la fuerza de ruptura de la cohesividad entre dos platos circulares planos y la muestra del alimento (Ramirez Wong B., Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation, 1993).

4. **Cambios en el maíz.** Los cambios producidos por el proceso de nixtamalización son el resultado de pérdidas de ciertas estructuras físicas del grano, así como también de compuestos químicos. Los cambios de funcionalidad consisten en la pérdida de compuestos orgánicos que conforman la fibra, por la gelatinización de almidones, desnaturalización de las proteínas, mientras que los cambios de valor nutritivo, son más complejos. Otros efectos importantes son los de control de la actividad microbiológica, aroma, sabor y color del producto (Bressani R., 2008).

5. **Cambios estructurales en el grano de maíz.** Se causa un rompimiento parcial del pericarpio, que se remueve fácilmente con una simple frotación y lavado del grano. La eliminación del pericarpio facilita la absorción de agua y calcio, ya que representa la primera barrera a este proceso. Esta estructura está formada por celulosa, hemicelulosa, lignina y proteína fijada en estos compuestos. El PH alcalino solubiliza y desintegra esa estructura, contribuyendo a darle a la masa características de suavidad y plasticidad. La eliminación del pericarpio se inicia durante la cocción, continua durante el remojo u se completa durante el lavado del maíz. El peso seco del grano del maíz al inicio disminuye con el tiempo de cocción para luego aumentar a valores similares a los iniciales.

Este comportamiento puede ser debido a pérdida de materiales orgánicos que salen del grano, y luego incrementa debido posiblemente a la absorción de calcio que se inicia durante la cocción y continua durante la fase de remojo (Bressani R., 2008). Aunque otros estudios sugieren que la concentración de cal y el tiempo de cocción promueven el entrecruzamiento de calcio, y no así el tiempo de reposo (Del Valle F. R., 1999).

La capa aleurónica y sus células quedan intactas y pegadas a la superficie del endospermo, sirviendo como una estructura de retención del mismo, reduciendo la pérdida de proteínas del endospermo y el nitrógeno. La mayor parte del germen se retiene durante la cocción alcalina. Los gránulos de almidón aumentan de tamaño en todo el endospermo y muestran una destrucción parcial y las proteínas de esta estructura del grano quedan asociadas a los gránulos de almidón. Se ha encontrado que la nixtamalización causa una gelatinización extensa del almidón (Bressani R., 2008).

6. **Absorción de agua y calcio.** Se observa una absorción de agua más rápida que cuando la cocción se efectúa solo con agua, siendo muy rápida al inicio de la cocción y llegando al máximo de absorción al finalizar la cocción. El contenido de agua generalmente aumenta de 12 a 14% en el grano a valores de 42 – 46% en el nixtamal. El contenido de agua llega a su máximo valor durante el periodo de remojo entre 45 a 49%. La absorción de calcio es más lenta que la del agua y ocurre a través de la capa terminal, germen y perispermo, absorbiendo más el germen que el endospermo y en esta fracción del grano el calcio se liga con el almidón. La cantidad de calcio en el nixtamal, depende también de la dureza del grano de maíz siendo los duros los que absorben menos que los granos suaves. La cantidad de cal utilizada durante la cocción del maíz es importante en determinar el contenido de calcio en el grano. A mayores tiempos de cocción también se retiene más calcio en el grano de maíz nixtamalizado (Bressani R., 2008).

7. **Pérdidas de materia seca.** Las pérdidas de materia seca se relacionan con el método de cocción utilizado, la variedad de maíz, la integridad del grano y la duración del remojo, dándose mayores pérdidas al incrementar la agresividad del proceso o el daño del maíz (Bressani R., 2008).

En un estudio (Khan M. N., 1982) consistente en evaluar tres procesos de cocción alcalina: 1) tradicional, 2) comercial y 3) presión, en cuanto a la pérdida de materia seca se concluyó que el método tradicional produjo la mayor pérdida de materia seca, y el método comercial la menor. En los niveles óptimos de cocimiento se reportaron 12% de pérdidas por el método tradicional, 8% por el método comercial y 10% por el método a presión. Las aguas de cocción tienen un pH que varía entre 10.5 a 11.2 con 5.7 a 8.0% de sólidos totales y entre 6.4 a 7.5% de hemicelulosa, representando un medio rico en compuestos orgánicos cuyo afluente es altamente contaminante (Bressani R., 2008).

C. Tortilla

1. **Textura.** La tortilla es un alimento de alto consumo en México, Estados Unidos, y parte de América Central, y a pesar de ello, no existe homogeneidad en las características de calidad finales de las tortillas preparadas comercialmente. Esta variabilidad se podría explicar por la falta de control de calidad, baja calidad del grano, equipo obsoleto, y deficiencia en técnicas probadas para determinar objetivamente las características de textura de las tortillas (Arámbula Villa G., 2004).

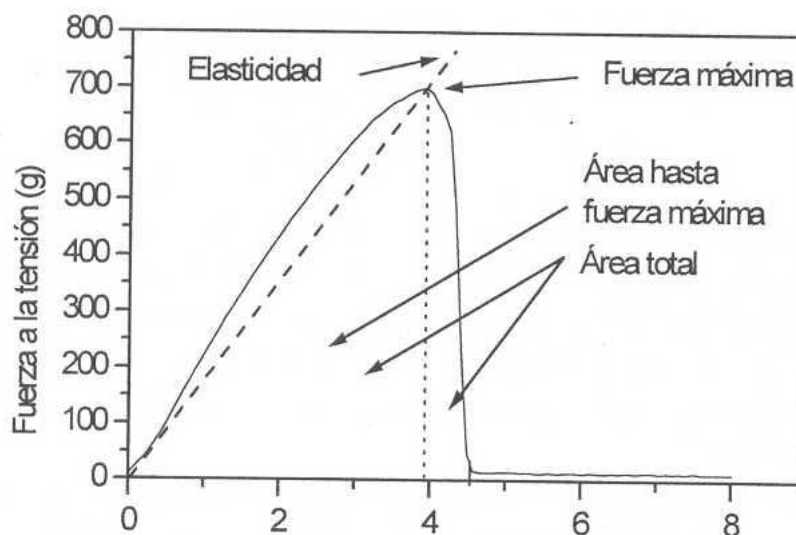
a. Rolabilidad. La rolabilidad evalúa el grado de rompimiento de la tortilla, al enrollar la tortilla en una varilla de vidrio de 2cm de diámetro, 30 minutos después de elaborada. Utiliza una escala subjetiva del 1 al 5, donde 1 equivale a un 0% de rompimiento, 2 a un rompimiento hasta del 25%, 3 de 26 a 50%, 4 de 51 a 75 y 5 desde 76 a 100% (Arámbula Villa G., 2004).

b. Flexibilidad. Evalúa el grado de rompimiento de la tortilla, al apretar la tortilla haciendo un puño con la mano. La calificación de flexibilidad se asigna de 1 a 5 donde: 1 es quebrado, 2 corresponde a menos de tres grietas, y algunas partes quebradas, 3 representa grietas, pero la tortilla conserva la forma, 4 algunas grietas pequeñas, y 5 se asigna si la tortilla vuelve a su forma original (Fernandez D, 1999).

c. Fuerza a la tensión. Relacionada a la fuerza que opone la tortilla a la ruptura al ejercer tensión, utiliza una probeta de medidas específicas a una velocidad dada. Se relaciona con la resistencia de la tortilla que se relaciona con la textura de la misma (Arámbula Villa G., 2004).

d. Elasticidad y elongación. La pendiente de la curva trazada entre la fuerza de tensión y la distancia de elongación es considerada la elasticidad de la misma. La elongación es considerada como la distancia recorrida desde el inicio de la prueba, hasta el rompimiento de la tortilla (Arámbula Villa G., 2004).

Figura 2. Curva fuerza a la tensión vs elongación (mm)



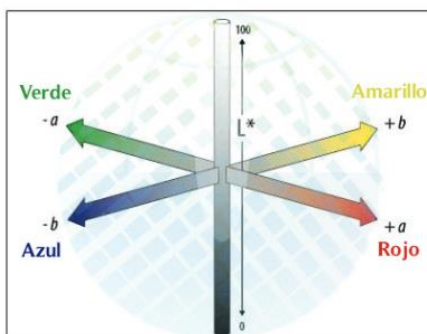
Fuente: (Arámbula Villa G., 2004)

e. Fuerza al corte. Se utiliza el mismo equipo para determinar la fuerza a la tensión con un accesorio de corte plano de 10cm por 4mm de ancho, tomando como referencia la fuerza hasta la ruptura, con condiciones específicas de carga y velocidad (Arámbula Villa G., 2004).

2. **Color.** Los consumidores manifiestan una fuerte preferencia por aquellos productos de apariencia atractiva y el color es el primer atributo que se juzga de los productos. Esto es decisivo ya que en innumerables pruebas se ha comprobado que cuando el color de un alimento cambia sin alterar su forma, aroma u otros atributos de textura, se obtienen una respuesta de rechazo por parte de los consumidores, o incluso de los catadores entrenados (Mathias Rettig K., 2014). Tomando como base la teoría de los colores oponentes de Hering, que dice que la respuesta de los conos rojos, verdes y azules se re-mezclan en sus codificadores opuestos a medida que se desplazan a lo largo del nervio óptico hasta el cerebro, Hunter desarrolló en 1948 el sistema L, a, b. Este nuevo sólido de color denominado Hunter Lab tiene una superficie uniforme de color definida por tres coordenadas rectangulares:

L (luminosidad) donde 0 es el negro y 100 es el blanco, a significa rojo-verde; los valores positivos para rojo, negativos para verde y 0 el neutro y b representa el eje amarillo-azul; valores positivos para amarillo, negativos para azul y 0 el neutro. La economía y rapidez de respuesta, que supuso la aparición en el mercado de los colorímetros triestímulo (colorímetros Hunter Lab) frente a los espectrofotómetros convencionales, ayudaron a la gran difusión del sistema L, a, b. Contribuyó también lo intuitivo de la representación gráfica, la cual se basa en la teoría de los colores oponentes. Tanto la escala de color L, a, b de Hunter como la CIE L^* , a^* , b^* emanan del sistema CIE XYZ. Sin embargo, la CIE recomienda hoy en día el uso de CIE L^* , a^* , b^* (Mathias Rettig K., 2014).

Figura 3. Coordenadas de color en el sistema Hunter lab



Fuente: (Mathias Rettig K., 2014)

3. **Evaluación sensorial.** El análisis sensorial es la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído. Esta disciplina comprende un conjunto de técnicas para la medida precisa de las respuestas humanas a los alimentos e intenta aislar las propiedades sensoriales y aportar información útil para el desarrollo de productos, control durante la elaboración, vigilancia durante el almacenamiento, entre otras (Ramírez Navas, 2012).

Las pruebas de análisis sensorial permiten traducir las preferencias de los consumidores en atributos bien definidos para un producto. La información sobre los gustos y aversiones, preferencias y requisitos de aceptabilidad, se obtiene empleando métodos de análisis denominados pruebas orientadas al consumidor. Estas pruebas deben realizarse exclusivamente con consumidores y no con evaluadores entrenados (Ramírez Navas, 2012).

a. **Pruebas cuantitativas de consumo.** Las pruebas empleadas para evaluar la preferencia, aceptabilidad o grado en que gusta un producto se conocen como: pruebas cuantitativas de consumo o pruebas orientadas al consumidor (POC), ya que se llevan a cabo con paneles de consumidores no entrenados. Existen tres dimensiones básicas en este tipo de investigación: a) sensorial o hedónica, b) conveniencia (facilidad para comprar, transportar, conservar, etc.), y, c) beneficios del producto relacionados con la salud. El desarrollo de pruebas de análisis sensorial, adaptadas al perfil del consumidor, permiten identificar preferencias o rechazos relacionados a la creación de hábitos y prácticas alimentarias. Las pruebas de preferencia y aceptación son las más conocidas, se usan indistintamente, pero son dos métodos distintos. En las pruebas de preferencia, a los consumidores se les solicita que indiquen cuál es la muestra de su preferencia. Mientras que en las pruebas de aceptación a los consumidores se presentan los productos y se les pide que indiquen su nivel de agrado en una escala (Ramírez Navas, 2012).

b. **Prueba hedónica (escala de nueve puntos).** La escala de 9 puntos es una escala bipolar. Desde su invención en la década de 1940, se ha utilizado extensamente en una amplia variedad de productos y con un éxito considerable. Es la prueba recomendada para la mayoría de estudios, o en proyectos de investigación estándar, donde el objetivo es simplemente determinar si existen diferencias entre los productos en la aceptación del consumidor (Ramírez Navas, 2012).

A los panelistas se les pide evaluar muestras codificadas de varios productos, indicando cuanto les agrada cada muestra, marcando una de las categorías en la escala, que va desde me gusta extremadamente, hasta me disgusta extremadamente. Cabe resaltar que la escala puede ser presentada gráfica, numérica o textualmente, horizontal o verticalmente y se utiliza para indicar las diferencias en gusto del consumidor de los productos.

En esta escala es permitido asignar la misma categoría a más de una muestra. Las muestras se presentan en recipientes idénticos, codificados con números aleatorios de tres dígitos. Las muestras se codifican con números aleatorios. El orden de presentación de las muestras puede ser aleatorizado para cada panelista o de ser posible, balanceado. En un orden de presentación balanceado, cada muestra se sirve en cada una de las posibles posiciones que puede ocupar (primera, segunda, tercera, etc.) un número igual de veces exponen diferentes órdenes de presentación con ejemplos de diseños balanceados para 3, 4, 5 y 12 muestras. En la Figura 4 se da un ejemplo de boleta para prueba hedónica (Ramírez Navas, 2012).

Figura 4. Ejemplo de boleta para prueba hedónica

**POR FAVOR EMPUJE LA VENTANA PARA RECIBIR SUS MUESTRAS
TOME UN BOCADO DE GALLETA Y UN SORBO DE AGUA PARA
ENJUAGARSE LA BOCA.**

**Recuerde hacer esto antes de probar cada muestra
CUANDO RESPONDA A CUALQUIER PREGUNTA, ASEGÚRESE DE ESCRIBIR
EL NÚMERO DEL VASO EN LA LÍNEA CORRESPONDIENTE**

CÓDIGO DE MUESTRA _____

Por favor, marque en la siguiente escala CUÁNTO LE GUSTA la muestra.

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta bastante	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta bastante	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para el análisis de los datos, los puntajes numéricos para cada muestra, se tabulan y analizan utilizando análisis de varianza (ANOVA) con la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), para determinar si existen diferencias significativas en el promedio de los puntajes asignados a las muestras. En el análisis de varianza (ANOVA), la varianza total se divide en varianza asignada a diferentes fuentes específicas.

La varianza de las medias entre muestras se compara con la varianza de dentro de la muestra (llamada también error experimental aleatorio). Si las muestras no son diferentes, la varianza de las medias entre muestras será similar al error experimental (Ramírez Navas, 2012).

D. Equipo para realizar el proceso

Consiste en los equipos que se utilizarán para realizar tortillas, desde la nixtamalización, pasando por la molienda, el formado y cocción de la tortilla.

1. **Cocedor de maíz.** Se utiliza un cocedor Alitech desarrollado por Nextamalli, con la capacidad de realizar nixtamalización convencional o a presión. En la Figura 5 se muestra el cocedor.

Figura 5. Cocedor Alitech para nixtamalizar



Fuente: (Nextamalli, 2017)

Consiste en un cuerpo de acero al carbón, que soporta un tanque interno de acero inoxidable. El equipo utiliza un quemador de gas LP y por medio de convección y conducción le transmite calor a toda la superficie del tanque interno. El tanque interno tiene la capacidad de contener presión de vapor a 15 psi, permitiendo alcanzar temperaturas por encima de la ebullición. Las variables de proceso son: temperatura, presión y tiempo de cocción.

2. Molino de nixtamal. El nixtamal cocido es molido utilizando un sistema de dos piedras: una estacionaria y otra mecánicamente rotada a una velocidad de 500 a 700rpm. Se utilizan piedras volcánicas, que pueden ser afiladas a cada cierto tiempo. La piedra típicamente es de 10.2cm de grosor y de 25 a 46 cm de diámetro. Las ranuras pierden profundidad al acercarse al perímetro de la piedra. El molido inicia cuando un tornillo transportador en la base de la tolva obliga el paso del nixtamal por una apertura central y luego por la brecha entre las dos piedras, donde el corte ocurre. El nixtamal es cortado, amasado y deshecho mientras se mueve hacia el perímetro de la piedra. La reducción de las partículas de la masa está directamente relacionada con el tamaño y profundidad de las ranuras, y es el resultado de severos factores interactuantes: 1) grado de cocimiento de nixtamal; 2) diseño de la superficie de molienda; 3) presión entre las piedras; 4) cantidad de agua utilizada durante la molienda; y 5) tipo de maíz.

El agua agregada durante la molienda enfría las piedras, previene el gasto excesivo, y reduce la temperatura de la masa. Cerca de 0.6 a 1.2L de agua por minuto es agregada para un molino con capacidad de 600kg/h. El agua incrementa la humedad de la masa al óptimo para la formación de la sabana posteriormente (Lusas E, 2001).

Figura 6. Molino de piedras para nixtamal



Fuente: (Grupo Villamex, 2017)

3. Máquina para hacer tortillas. La masa se hace plástica y cohesiva al amasarse. Esto pasa al transportarse de la amasadora a la formadora, utilizando un alimentador. En pequeñas operaciones, la masa es mezclada y formada en hogazas, que son transportadas manualmente a los rodillos formadores de sábana. En los Estados Unidos de América, dos rodillos rotativos recubiertos de teflón presionan automáticamente la masa para producir una sábana delgada de masa.

El espacio entre los rodillos determina el grosor del producto, peso y ultimo uso; por ejemplo, las tortillas de mesa típicamente tienen un diámetro de 15 cm y peso de 28 a 30g. La resultante sabana de masa es cortada en discos por un troquelador inferior. Diferentes troqueladoras se pueden utilizar para generar varios productos, variando de discos a triángulos en forma. Existen formadores de hasta ocho filas de tortillas. Un set de alambres cortadores despega los discos de masa en la banda transportadora que alimenta el horno, aunque ya se han desarrollado rodillos sin alambre (Lusas E, 2001).

Los discos formados son horneados para convertirse en tortillas, en un horno de tres pasos calentado a gas a temperaturas en un rango de 350 a 480°C por 20 a 40 segundos. La humedad de la masa es reducida cerca de un 10 a 12% durante el horneado para producir tortillas con un 38 a 46%. Las tortillas son enfriadas por tres a veinte minutos en una serie de transportadores expuestos (Lusas E, 2001).

Figura 7. Máquina para elaborar tortillas



Fuente: (Grupo Villamex, 2017)

III. JUSTIFICACIÓN

Para el año 2016 se estimó una producción anual de maíz en Guatemala de 40.9 millones de quintales, de los cuales 36.8 millones corresponden a maíz blanco. Este maíz es utilizado para satisfacer las necesidades nacionales. En lo que se refiere a la importación de maíz blanco, para el año 2015 la importación se situó en los 1.37 millones de quintales siendo las exportaciones del mismo de poca importancia (Informe situación del maíz blanco, 2016). A nivel nacional la tortilla y los derivados del maíz son consumidos por el 93% de hogares, situándose por encima en esta proporción únicamente el tomate (Menchú T., 2011).

Esta información sugiere la importancia del maíz y sus derivados en el presente cercano en Guatemala. El proceso tradicional es ampliamente utilizado en el país, y pocas variaciones consistentes en el tiempo y temperatura de cocción, concentración de cal y tiempo de reposo se han incorporado de acuerdo a la experiencia de cada hogar en específico.

A nivel industria, se han desarrollado procesos específicos de cocimiento alcalino para producir tipos específicos de masa para productos como: tortillas, tacos, chips, etc. (L. W. Rooney, 1999). Sugiriéndose también que la industria hace uso de híbridos de maíz específicos para cada tipo de producto a desarrollar. Esto muestra avances que no se han colocado al alcance del productor pequeño, o que produce para el autoconsumo.

El proceso tradicional, requiere de tiempo y es costoso en términos de la energía utilizada para su procesamiento. Numerosos estudios se han hecho sobre diferentes formas de obtener un producto aceptable, como el cocimiento a presión, cocimiento comercial, micro ionizado, extrusión, entre otros (Bressani, 1990). De estos métodos se reporta que la extrusión produce tortillas culturalmente aceptables.

Aunque el tema del costo del proceso se menciona en varios artículos, se encontró poca evidencia en los estudios de procesos alternativos. En México el uso de harina de maíz nixtamalizado permite producir tortillas de menor costo, en comparación a las producidas con maíz (Obregón Hernández, 2005). Además de que los procesos son diferentes, se ha identificado que el híbrido de maíz utilizado tiene un efecto directo sobre los rendimientos esperados: híbridos de maíz especializados que están al alcance de productores industriales (L. W. Rooney, 1999). Se encontró una brecha en el estudio de costo de producción de tortillas para estudios comparativos a nivel nacional.

Para el caso de la contaminación y aguas residuales existe abundante información disponible. El alto volumen de agua, el alto nivel de sólidos disueltos (3-15%), alto pH del agua residual del proceso, ha conducido a la investigación de métodos alternativos de desecho o reutilización de dicha agua (Campechano Carrera E. M., 2011).

Se insiste que cualquier método que reduzca tiempo, costo o contaminación es ventajoso. Aunque se ha hecho extensivo el uso de harinas de maíz nixtamalizado, su aceptación no termina de ser generalizada, impulsándose la nixtamalización en el hogar.

Este estudio, se evaluó un proceso de nixtamalización alternativo, basado en el tradicional. Se comparó el costo de la producción de tortillas para métodos de proceso diferentes, utilizando variedades de maíz disponibles en la ciudad de Guatemala. Esto permitió una evaluación objetiva de los procesos al incluir la viabilidad económica.

Por medio de la evaluación de parámetros sensoriales se definió la viabilidad del producto terminado para el consumo. Abarcado integralmente, podría significar una opción viable para el productor de tortilla de maíz, y cuyo producto sea aceptado por sus propiedades organolépticas.

IV. OBJETIVOS

A. General

Comparar el método de cocción alcalina de maíz utilizando presión, con el método tradicional para la producción de tortillas con tres variedades de maíz.

B. Específicos

1. Caracterizar el maíz obtenido comercialmente en Guatemala, a utilizar para la comparación de procesos de cocción alcalina
2. Evaluar la textura, color y aceptación sensorial de las tortillas preparadas por el proceso a presión en comparación con las preparadas por el proceso tradicional
3. Comparar el costo en el que se incurre al preparar tortillas por el método tradicional de cocimiento alcalino en comparación con el proceso alternativo a presión

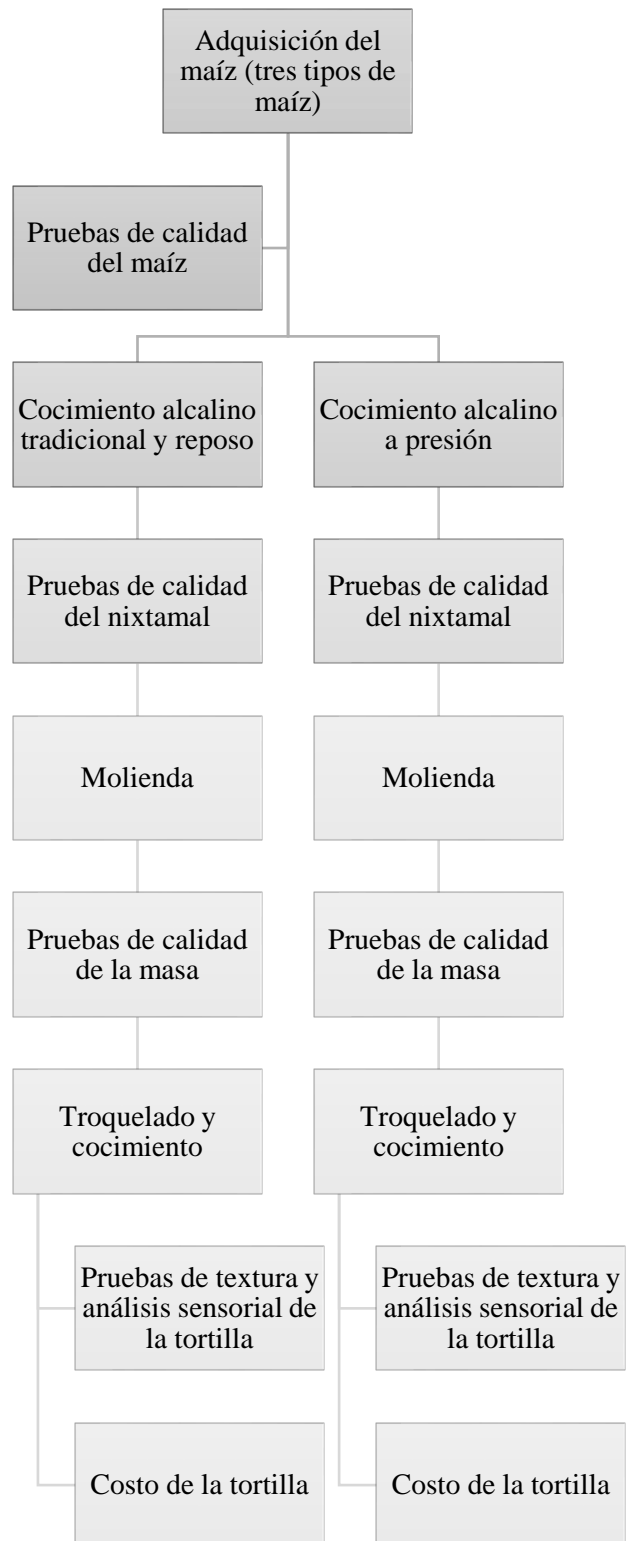
V. METODOLOGÍA

Se utilizaron los procesos de nixtamalización tradicional y a presión con tres tipos de maíz comercial. Luego se evaluaron características del maíz, masa y tortilla, utilizando los procedimientos descritos a continuación, para los tratamientos desarrollados. Por último, se determinó el costo de producción por unidad de tortilla para cada tratamiento.

Los resultados sobre la caracterización de maíz, nixtamal y masa, arrojaron resultados cuantitativos, brindando la posibilidad de comparar las diferencias entre los métodos estudiados. Sobre la tortilla, además de pruebas de textura con resultados cuantitativos, se realizó una evaluación sensorial con consumidores, utilizando una escala hedónica de 1-9 sobre las características de aceptabilidad de la tortilla elaborada con el método tradicional y el método con cocimiento alcalino a presión. La premisa, es que la aceptación del consumidor es clave para la elección de un producto sobre otro.

Por último, ambos métodos de cocción generaron procesos que se compararon desde un punto de vista económico, esto es: costo. Se comparó el costo de producción de tortilla, incluyendo elementos de mano de obra directa, gas, energía eléctrica, materia prima y material de empaque. Con las comparaciones realizadas se determinó la viabilidad de realizar tortillas utilizando un proceso de nixtamalización alternativo al tradicional.

Figura 8. Metodología



A. Adquisición del maíz

Se adquirieron tres tipos de maíz en el mercado local de la ciudad de Guatemala:

1. **ICTA B-9.** Variedad de maíz blanco con alta calidad de proteína. Esta variedad fue desarrollada por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), con el apoyo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Variedad que se caracteriza por tener alta calidad de proteína, que contribuye a la mejor nutrición humana, está recomendada para el Oriente, Sur y Norte de Guatemala, comprendidas entre 0 a 1,200 metros sobre el nivel del mar. En los departamentos de San Marcos, Huehuetenango, Quiché, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa, Jutiapa, Jalapa, Zacapa, Chiquimula, Alta Verapaz, Baja Verapaz y Petén. Este maíz fue cosechado en San José La Máquina, Suchitepéquez Guatemala, a una altura media de 374 m. s. n. m., adquiridos con apoyo de Semilla Nueva. (ICTA, 2017) (Semilla Nueva, 2017)

2. **Maíz criollo del altiplano.** Variedad de maíz blanco criollo, denominado en Totonicapán como tipo Obispo donde fue cosechado. Totonicapán se encuentra en el altiplano de Guatemala a una altura promedio de 2505 m. s. n. m..

3. **Monsanto DK 390.** Variedad desarrollada por Monsanto bajo la marca Dekalb. Usada por su tolerancia a enfermedades foliares, y por su rendimiento (Monsanto Global, 2017), en este caso cosechada en La Nueva Concepción, Escuintla, a una altura media de 59 m. s. n. m.

B. Pruebas de calidad del maíz

1. **Impurezas y granos quebrados.** Consiste en la separación y cuantificación de los granos quebrados (granos que carecen de alguna de sus partes) y de las impurezas (cualquier cuerpo o material extraño distinto al grano de maíz, incluyendo olotes u otras partes de la planta, que pasen a través de una criba de orificios circulares de 4,76 mm de diámetro), así como todo material que, aunque no haya atravesado la criba sea diferente al grano.

a. Instrumentos

- 1) Balanza analítica con sensibilidad de 0,01 g,

2) Criba con orificios circulares de 4,76 mm de diámetro,

3) Criba con orificios circulares de 2,38mm de diámetro,

4) Charola de fondo

b. Procedimiento

1) Impurezas. Se colocó la criba de orificios circulares de 4,76 mm de diámetro sobre la criba de orificios circulares de 2,38mm y esta criba, en la charola de fondo. Se vertieron en la criba los 1 000g de la muestra de maíz. Se agitó con movimientos oscilatorios y circulares durante un minuto. Manualmente se separó todo el material extraño que no atravesó la criba de 4.76 mm, integrando esta porción en la charola de fondo. Los materiales recolectados en la charola del fondo se separaron y cuantificaron. (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002).

2) Granos quebrados. Para la determinación del grano quebrado, se tomaron los granos retenidos en la criba de 2.38mm de diámetro, incluyendo aquellos que quedaron en la criba de 4.76 mm de diámetro, pero que no alcanzan el 50% de un grano original. Los granos son recolectados y cuantificados (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002).

3) Clasificación del maíz por determinación de daños. Consiste en determinar y cuantificar los daños, defectos y cualquier otro elemento que afecte la calidad del grano.

2. Determinación de otros daños

a. Procedimiento. De la submuestra de 1000g que se utilizó para la detección de impurezas y granos quebrados, por cuarteo se obtuvo una muestra de 100g de grano libre de impurezas. De forma manual se separaron los granos dañados por insectos, calor, hongos u otros. Luego se determinó la masa de los granos dañados. (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002).

b. Resultados de la prueba

$$\% \text{ daños} = \frac{\text{masa de granos dañados (g)} * 100}{1000g}$$

$$\% \text{ de impurezas} = \frac{\text{masa de las impurezas (g)} * 100}{1000g}$$

$$\% \text{ de granos quebrados} = \frac{\text{masa de granos quebrados (g)} \cdot 100}{1000}$$

Estos procedimientos se realizaron sin repetición.

3. Humedad. El contenido de humedad se determinó gravimétricamente por el método de la AACC 44-15A, usando un horno de aire caliente. Se determinó el peso de la muestra a secar aproximadamente de 2g, y se secó a una temperatura de 103 °C por 72 horas, se enfrió en un desecador por una hora y se determinó el peso final. La humedad se determinó usando la ecuación a continuación, en triplicados por muestra:

$$\% \text{ de humedad} = [\text{Peso inicial (g)} - \text{Peso final (g)}] \times 100 / \text{Peso inicial (g)}$$

4. Peso hectolítrico. En un beaker de 1000mL de capacidad se vertió maíz dejando caer el grano libremente al recipiente, rasando sin apretar el grano con movimiento de zigzag. Luego se determina el peso de los 1000mL de maíz en gramos. La medición se realizó por triplicado por muestra. La masa del grano que se obtiene se reporta en kg/hl.

5. Peso de mil granos. Se determinó pesando 100 granos seleccionados aleatoriamente de cada muestra. El peso se multiplicó por 10. La medición se realizó en triplicado para cada variedad de maíz (Díaz, 2003).

6. Parámetros de nixtamalización

a. **Cocción óptima nixtamalización.** El tiempo de cocción óptima fue obtenido para cada tipo de maíz, por medio del método descrito por Serna – Saldivar *et al.* (1993), que consiste en colocar muestras de maíz de 100g en bolsas perforadas de polietileno de baja densidad y a cocidas a una temperatura de ebullición (95.7°C) en una solución con cal (45 L de agua con 150g de cal) durante 0, 15, 30, 45 minutos, para luego dejarlo reposar en la misma solución por 12 horas. La temperatura de reposo no fue controlada, iniciando desde la temperatura de ebullición hasta temperatura ambiente luego de las 12 horas de reposo. Luego del reposo, la muestra fue lavada con agua por 40 segundos, secada entre toallas de papel y pesada. Una muestra de 4g fue tomada del maíz nixtamalizado y secada por 48 horas a 100°C en un horno eléctrico de convección natural.

El maíz nixtamalizado y secado, fue colocado por 30 minutos en un desecador para enfriar y se pesó. Las pérdidas de materia seca y la humedad del nixtamal fueron calculados de acuerdo a las fórmulas:

$$\text{Pérdida de materia seca} = [(\text{Peso del grano seco} - \text{peso del nixtamal seco}) / \text{Peso del grano seco}] \times 100$$
$$\text{Humedad del nixtamal} = [(\text{Peso del nixtamal húmedo} - \text{peso del nixtamal seco}) / \text{Peso del nixtamal húmedo}] \times 100$$

El tiempo de cocimiento óptimo es el requerido para incrementar la humedad del grano hasta un 50%. Con los cuatro tiempos, y con las humedades obtenidas se utilizó regresión lineal simple para obtener el tiempo de cocción que corresponde a la humedad de 50%, para cada variedad de maíz.

b. Cocción óptima nixtamalización a presión. El tiempo de cocción óptima fue obtenido para cada tipo de maíz, usando como base el método descrito por Serna – Saldivar *et al.* (1993), adaptando las particulares condiciones del cocimiento a presión. Se colocaron muestras de maíz de 100g en bolsas perforadas retortables y a cocidas a una temperatura de 114 °C (16psi) en una solución con cal (260L de agua con 0.516g de cal) durante 0, 15, 30, 45 minutos. Luego de la cocción a presión, la muestra fue lavada con agua por 40 segundos, secada entre toallas de papel y pesada.

Una muestra de 3g fue tomada del maíz nixtamalizado y secada por 48 horas a 100°C en un horno eléctrico de convección natural. El maíz nixtamalizado y secado, fue colocado por 30 minutos en un desecador para enfriar y se pesó. Las pérdidas de materia seca y la humedad del nixtamal fueron calculados de acuerdo a las fórmulas:

$$\text{Pérdida de materia seca} = [(\text{Peso del grano seco} - \text{peso del nixtamal seco}) / \text{Peso del grano seco}] \times 100$$
$$\text{Humedad del nixtamal} = [(\text{Peso del nixtamal húmedo} - \text{peso del nixtamal seco}) / \text{Peso del nixtamal húmedo}] \times 100$$

El tiempo de cocimiento óptimo es el requerido para incrementar la humedad del grano hasta un 55%. Con los cuatro tiempos, y con las humedades obtenidas se utilizó regresión lineal simple para obtener el tiempo de cocción que corresponde a la humedad de 55%, para cada variedad de maíz.

c. Índice de flotación. Este método se basa en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto tales granos flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad, en la solución de nitrato de sodio.

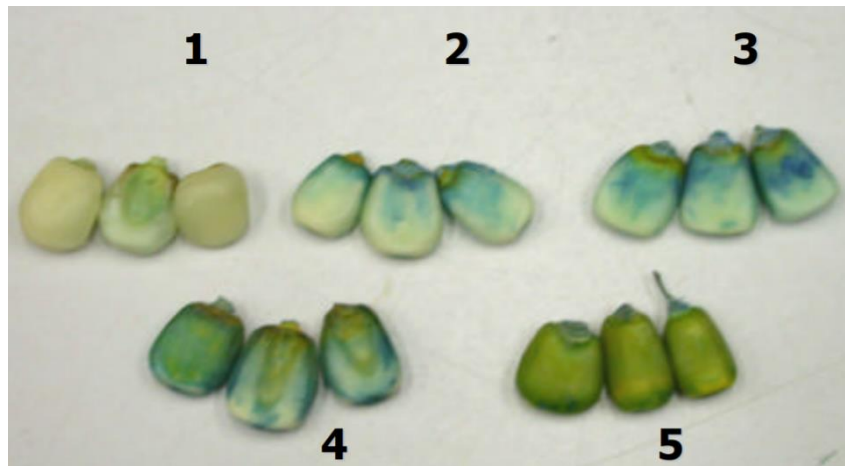
Se empleó una solución de nitrato de sodio, a una densidad de 1,250g/ml (+/- 0,001 g/ml), medida con una balanza y un balón aforado. Se controló la temperatura a 22°C - 23°C, empleando un volumen de 300ml -350ml, contenidos en un vaso de 600ml. De la submuestra de 1000g que se utilizó para la detección de impurezas y granos quebrados, se tomaron 100 granos limpios (libres de impurezas), se vertieron en la solución de nitrato de sodio previamente preparada, separando los granos uno de otro por medio de un agitador de vidrio, se agitó y luego de un minuto se tomó la lectura. El número de granos que ascendieron a la superficie se usa como el índice de flotación. La medición de flotadores se realizó por triplicado, por muestra.

d. Pericarpio remanente. Muestras de 100 gramos se cocinaron en 45 litros de agua y 150g de cal por el tiempo óptimo de cocción para cada variedad de maíz, se dejaron reposar por 12h y se enjuagaron suavemente sin removerle el pericarpio remanente.

Serna *et al.* (1991) adaptaron el método para coloración de sorgo decortinado a la evaluación de la facilidad de remoción del pericarpio en diferentes variedades de maíz; se utilizó dicho método, preparando la solución May - Gruenwald que contiene un gramo de eosina Y, y un gramo de azul de metileno en 200mL de metanol y se almacenó a temperatura de refrigeración en un frasco oscuro para mantener la estabilidad del colorante. Después se preparó la solución de trabajo, disolviendo la solución de May – Gruenwald con metanol (1:3) justo antes de lavar las muestras de nixtamal.

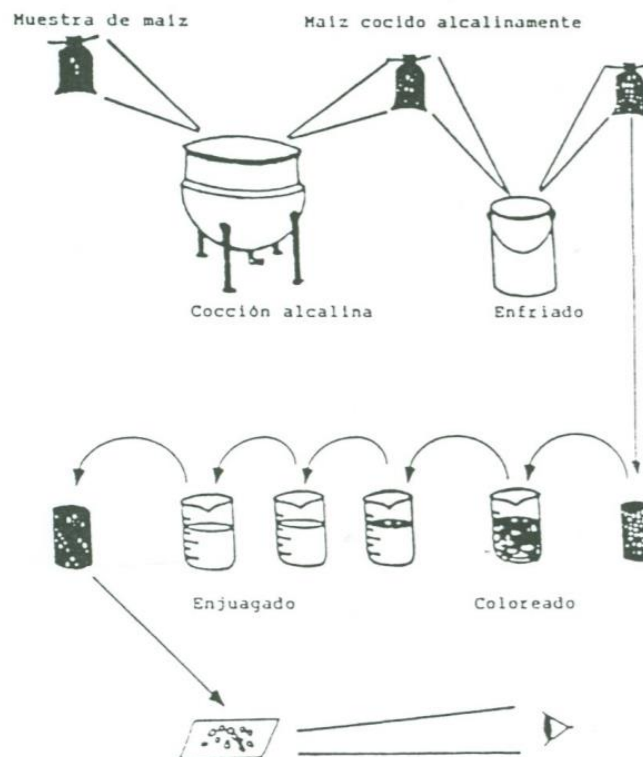
Las muestras de nixtamal fueron colocadas en un filtro plástico y se sumergieron durante 15s en la solución de trabajo. El exceso de colorante se removió durante enjuagues consecutivos del grano en tres recipientes que contienen de 250 a 300mL de metanol. La remoción de pericarpio se determinó subjetivamente comparando las muestras con la escala preparada por Díaz (2003) asignando de 1 – 5 de acuerdo a la tinción, donde 1 se le asignó al grano que no tiene pericarpio remanente y 5 al que tiene completa la cascarilla. (Serna Saldivar, 1991)

Figura 9. Escala de evaluación de remoción de pericarpio



Fuente: (Díaz, 2003)

Figura 10. Evaluación de remoción de pericarpio



Fuente: (Serna Saldivar, 1991)

El procedimiento de determinación de pericarpio remanente se realizó para la nixtamalización a presión, utilizando también los tiempos de cocción óptimos determinados. El procedimiento de tinción se realizó según lo descrito en esta misma sección para el maíz nixtamalizado de modo tradicional. Para ambos casos la medición se realizó por triplicado, por muestra.

C. Procedimientos de nixtamalización

1. Procedimiento de nixtamalización tradicional. Se utilizó como base el procedimiento ilustrado por Bressani R. (2008):

Figura 11. Nixtamalización del maíz y preparación de tortillas, método tradicional



Fuente: Adaptado de Bressani (2008)

- a) Se lavó el maíz con agua a temperatura ambiente
- b) Se mezcló el maíz en el agua de lavado, se procedió a limpiar el maíz y se retiraron los restos que flotaron en el agua de lavado
- c) Se vació el agua de lavado y se procedió a agregar agua para cocción, a una relación de tres veces el peso del maíz
- d) Se agregó cal al 1% del peso del maíz

- e) Se realizó la cocción de acuerdo al tiempo obtenido en los parámetros de nixtamalización, y una temperatura de ebullición (95.7°C)
- f) Se dejó reposar por un periodo de 12 horas

2. Procedimiento de nixtamalización utilizando presión. Se utilizó el procedimiento descrito a continuación:

- a) Se lavó el maíz con agua a temperatura ambiente
- b) Se mezcló el maíz en el agua de lavado, se procedió a limpiar el maíz y restos flotantes en el agua de lavado
- c) Se vació el agua de lavado y se procedió a agregar agua para cocción, tres veces el peso del maíz
- d) Se agregó cal al 0.7% del peso del maíz
- e) Se elevó la temperatura, conservando la presión de la olla de cocción, hasta lograr una temperatura aproximada de 115 °C, y una presión de 16psi
- f) Se mantuvo en reposo a presión hasta lograr una humedad de nixtamal del 55%, de acuerdo al tiempo óptimo determinado
- g) Se enfrió el nixtamal, y se trasladó a molienda

D. Molienda

Se realizó la molienda con un molino eléctrico de dos piedras volcánicas de disco: una estacionaria y otra piedra móvil. Se agrega agua y se regula la presión de las piedras para obtener una humedad de la masa de 60% (Bressani R., 2008).

E. Troquelado y cocción

El formado de la tortilla se hizo en un equipo de dos rodillos y troquel. Se formó una sábana de masa del grosor deseado (para obtener una tortilla de 2mm) y el troquel cortó la tortilla de 15 cm sobre dicha sábana, para depositarse luego sobre el cocedor de tortillas. En un periodo de 40 a 60 segundos y temperatura de 180 a 210°C se coció la tortilla (Bressani R., 2008). La tortilla se enfrió hasta lograr una temperatura aproximada de 28°C y se empacó en bolsas de polietileno de baja densidad.

F. Evaluación de la masa

1. **Descripción del mecanismo.** Dos platos de superficie lisa y plana de 6.9cm de diámetro se utilizaron con un equipo de análisis de compresión y tensión, configurado para aplicar carga a una velocidad de 0.2mm/s. En la primera etapa se comprimió la masa entre los dos platos y luego se movió el plato superior hacia la dirección contraria para aplicar tensión. Las fuerzas de tensión y compresión se registraron a una velocidad de 0.2mm/s (Ramirez Wong B., Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation, 1993).

2. **Procedimiento.** Se tomó una porción de masa de aproximadamente 5g y se colocó en un dispositivo de forma cilíndrica, a modo de brindarle dicha forma, obteniéndose un cilindro de masa de 1.1cm de alto y 1cm de ancho. Este disco de masa se colocó entre los dos platos de acero inoxidable buscando el centro. Se aplicó el mecanismo de carga anteriormente descrito hasta que la compresión logró una separación de 2mm entre los platos. El movimiento inició entonces en la dirección contraria, registrando los datos de fuerza a la tensión. Los parámetros registrados son: adhesividad como trabajo (N.m, área debajo de la curva negativa); estrés máximo (Pa) seleccionada para dureza; y el factor compresión – tensión, definido como la razón de las fuerzas máximas de compresión y tensión (Ramirez Wong B., Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation, 1993). Esta medición se realizó por triplicado, para cada muestra.

Figura 12. Prueba de evaluación de la masa



G. Textura de la tortilla

1. **Tensión y corte.** Para la prueba de tensión se utilizó el test biaxial para tortilla, colocando la tortilla entre dos discos de acero que la sostienen tensa, y provocando la falla a una velocidad de 2mm/s, con un accesorio de forma esférica de 1" de diámetro. De la curva resultante se determinó la fuerza máxima a la ruptura, el área bajo la curva hasta el punto de ruptura de la tortilla. Las condiciones de prueba son: velocidad 2mm/s, distancia de compresión, 25mm.

a. **Elasticidad hasta la fuerza máxima y elongación.** La pendiente de la curva de fuerza a la tensión, desde el inicio hasta el punto de ruptura de la tortilla se interpreta como la elasticidad hasta la fuerza máxima de la misma. La elongación de la tortilla fue considerada como la distancia desde el inicio de la prueba hasta el punto de rompimiento de la tortilla (Arámbula Villa G., 2004).

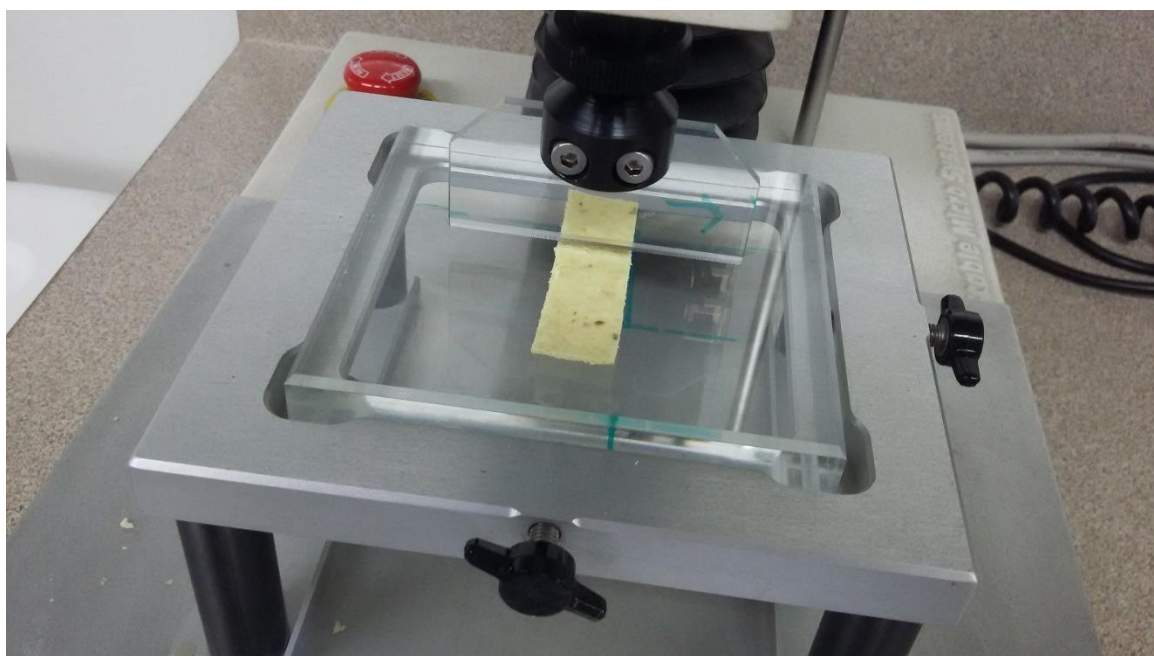
b. **Elasticidad.** La pendiente de la curva de la fuerza a la tensión, determinada directamente de la gráfica de un punto a otro, por medio del software del texturómetro, se interpreta como la elasticidad.

Figura 13. Prueba de evaluación de tensión de la tortilla



c. Fuerza al corte. Para las determinaciones de fuerza al corte se utilizó el mismo equipo utilizado para determinar la fuerza a la tensión, con una cuchilla plana de 5.95cm de largo por 1mm de ancho. Para esta prueba se utilizaron las probetas de tortilla de 1.5cm de ancho, realizando el corte en forma transversal, en la parte central de la tortilla. De la curva resultante se determinó la fuerza máxima a la ruptura, y el área bajo la curva hasta el punto de ruptura. Las condiciones para esta prueba fueron: velocidad 0.2mm/s, distancia de compresión, 4.5mm. Las mediciones resultantes de las pruebas de tensión y corte se realizaron por triplicado para cada muestra de tortilla.

Figura 14. Prueba de evaluación al corte a la tortilla



2. Rolabilidad y flexibilidad. La rolabilidad de las tortillas se determinó usando el método propuesto por Bedolla y Rooney (1984). La tortilla completa se enrolló alrededor de una varilla de vidrio de 2cm de diámetro, 30min después de elaborada y se midió el grado de rompimiento. El grado de rompimiento de las tortillas se evaluó en forma subjetiva utilizando una escala del 1 al 5, donde 1 corresponde a un rompimiento de 0%, 2, a un rompimiento de 1 a 25%, 3, de 26 a 50%, 4, de 51 a 75% y 5 desde 76 a 100% de rompimiento de la longitud de la tortilla. Se realizaron tres mediciones de cada lote de tortillas. Para el resto de las mediciones, las tortillas se guardaron, a temperatura de refrigeración, dentro de bolsas de polietileno selladas hasta su utilización (Bedolla S, 1984).

La flexibilidad se evaluó por medio del método utilizado por Fernández (1999). Mide el grado de rompimiento de la tortilla, al apretar la tortilla haciendo un puño con la mano. La calificación de flexibilidad se asignó de 1 a 5 donde: 1 es quebrado, 2 corresponde a menos de tres grietas, y algunas partes quebradas, 3 representa grietas, pero la tortilla conserva la forma, 4 algunas grietas pequeñas, y 5 se asigna si la tortilla vuelve a su forma original.

H. Calidad en el almacenamiento

Se midió la humedad de la tortilla y la textura con los métodos anteriormente descritos, a las 2 horas de haber sido elaboradas, luego a cada 24 horas hasta llegar a las 72 horas y luego hasta las 120 horas de elaboradas. El almacenamiento será a 5°C en bolsas de polietileno de baja densidad. Esto de acuerdo al método usado por Salinas (2010).

I. Color

La lectura se obtuvo por medio de un colorímetro, colocado sobre la superficie de la tortilla, utilizando la escala de CIE L*, a*, b* (Mathias Rettig K., 2014).

Figura 15. Evaluación del color de la tortilla



J. Análisis sensorial

Se realizaron pruebas cuantitativas orientadas al consumo. Específicamente midiendo aceptabilidad a través de una escala hedónica de 9 puntos. A los panelistas se les pidió evaluar muestras codificadas de los productos, indicando el agrado de cada muestra, marcando una de las categorías en la escala. La escala presentada va desde me gusta extremadamente, hasta me disgusta extremadamente.

Las muestras se presentaron en recipientes idénticos, codificados con números aleatorios de tres dígitos. El orden de presentación de las muestras fue aleatorio (Ramírez Navas, 2012). Se evaluó la aceptabilidad general, la textura y el sabor de las tortillas.

Figura 16. Boleta para prueba hedónica

**POR FAVOR EMPUJE LA VENTANA PARA RECIBIR SUS MUESTRAS
TOME UN BOCADO DE GALLETA Y UN SORBO DE AGUA PARA
ENJUAGARSE LA BOCA.**

**Recuerde hacer esto antes de probar cada muestra
CUANDO RESPONDA A CUALQUIER PREGUNTA, ASEGÚRESE DE ESCRIBIR
EL NÚMERO DEL VASO EN LA LÍNEA CORRESPONDIENTE**

CÓDIGO DE MUESTRA _____

Por favor, marque en la siguiente escala CUÁNTO LE GUSTA la muestra.

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta bastante	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta bastante	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Por favor, marque en la siguiente escala CUÁNTO LE GUSTA LA TEXTURA la muestra.

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta bastante	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta bastante	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Por favor, marque en la siguiente escala CUÁNTO LE GUSTA EL SABOR la muestra.

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta bastante	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta bastante	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
1	2	3	4	5	6	7	8	9

¿Tiene comentarios acerca de las muestras o de alguna en particular?

K. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos, los resultados numéricos para cada muestra, se tabularon y analizaron utilizando análisis de varianza (ANOVA) con la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), determinando diferencias significativas en el promedio de los resultados por muestra. En el análisis de varianza (ANOVA), la varianza total se divide en varianza asignada a diferentes fuentes específicas. La varianza de las medias entre muestras se compara con la varianza de dentro de la muestra (llamada también error experimental aleatorio). Si las muestras no son diferentes, la varianza de las medias entre muestras será similar al error experimental (Ramírez Navas, 2012).

L. Costo

Para hacer una comparación adecuada del costo, tomando en cuenta la capacidad del cocedor de maíz, se realizó un cocimiento de 600 libras para cada combinación de proceso y variedad.

1. **Gas.** La determinación del gas utilizado se realizó por medio de gasómetros al cocedor de maíz y al cocedor-troquelador de tortillas. Se tomó una lectura inicial del gasómetro antes de utilizar el equipo y una lectura final al terminar la cocción. La resta representa el consumo en galones de gas propano utilizado. La cantidad de galones por el costo unitario en moneda local brindó el costo del gas utilizado, el cual se dividió entre el total de tortilla producida.

2. **Energía eléctrica.** Se determinó de manera indirecta, anotando el tiempo de uso de los equipos:

- a) Molino
- b) Troqueladora – cocedora
- c) Enfriadora

Luego, se hizo un levantado de la potencia (kW) de los motores eléctricos de los equipos, por equipo. Luego el tiempo de uso del equipo (h) se multiplicó por la suma de kW por equipo, obteniéndose kWh, que es la energía utilizada. Esto a la tasa de costo de la energía eléctrica local se tradujo a un costo en la moneda local. El costo total de energía eléctrica se dividió entre la producción de tortillas, obteniendo el costo por tortilla.

3. **Mano de obra.** Puede representar uno de los costos más altos en la producción de tortillas. Utilizando el salario mínimo actual y las horas que el personal dedicó a la producción de tortillas, se obtuvo el costo por este concepto. Para esto, al salario mínimo se le agregaron las prestaciones de forma porcentual (cuota patronal, vacaciones, indemnización, bono 14 y aguinaldo) aproximando un 42%.

Dicha cantidad (salario + prestaciones) se multiplicó por los 12 meses del año y se dividió entre las 50 semanas hábiles del año, obteniéndose el costo por semana. El costo por semana, se dividió entre 44 horas, y con esto el costo por hora. El costo por hora se multiplicó por las horas utilizadas por el personal para realizar las tortillas. Luego se dividió entre las tortillas producidas, obteniéndose el costo unitario por tortilla.

4. **Materia prima.** La materia prima utilizada consiste en el maíz, cal y bolsas de polietileno de baja densidad utilizados. Se cuantificó el costo del material utilizado y se dividió entre la cantidad de tortilla producida, obteniéndose el costo unitario por tortilla.

5. **Costo por tortilla.** Se suman los costos unitarios por tortilla obtenidos en secciones anteriores, y se compara sobre una base objetiva que método produce una ventaja en costo.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Pruebas de calidad del maíz

1. Impurezas y granos quebrados

Cuadro 2. Impurezas, granos quebrados y daño por insectos

Maíz	Impurezas $\bar{x} \pm 0.1(\%)$	Granos quebrados $\bar{x} \pm 0.1 (\%)$	Daño por insectos $\bar{x} \pm 0.1 (\%)$
ICTA B-9	0.2	1.8	0.4
Altiplano	0.2	0.6	0.0
DK 390	0.2	1.4	0.0

La precisión de la balanza utilizada es de ± 1 g, lo que brinda la incertidumbre de estos resultados.

Se observa que el porcentaje de impurezas es similar para los tres tipos de maíz, consistentes en objetos extraños como basura, piedras, etc. El % de granos quebrados es similar para las variedades ICTA B-9 y DK 390, y en este aspecto es menor para el maíz del altiplano. Estos resultados pueden impactar en la calidad de la masa y la tortilla, ya que los granos quebrados son indeseables para obtener masa y tortilla adecuadas, y provocando mayores pérdidas de sólidos.

2. Humedad, peso hectolítrico y peso de mil granos

Cuadro 3. Humedad, peso hectolítrico y peso de mil granos por variedad de maíz

Maíz	Humedad $\bar{x} \pm 0.16 (\%)$	Peso Hectolítrico $\bar{x} \pm 0.008$ (kg/hl)	Peso de mil granos $\bar{x} \pm 1$ (g)
ICTA B-9	15.70 ^a	78.067 ^a	240
Altiplano	13.75 ^b	73.333 ^b	476
DK 390	14.72 ^c	80.133 ^c	250

HSD 0.29 1.447

Como se observa las tres variedades de maíz son significativamente diferentes, obteniéndose una mayor humedad para el maíz ICTA B-9. Todas las variedades estudiadas superan el 8% recomendado como máximo para evitar la proliferación de insectos.

Las variedades ICTA B-9 y DK 390 superan el 14% recomendado como máximo para evitar la proliferación de hongos y bacterias (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1993).

El maíz del altiplano presentó un peso hectolítrico de 73.333kg/hl que es inferior a lo recomendado (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002). A este respecto (Salinas Moreno Y G. M., 2010) indican que a menor peso hectolítrico se espera una menor densidad y por lo tanto menor calidad para nixtamalizar. Esto se puede ver reflejado con el peso de mil granos, ya que el maíz del altiplano con 476.19g supera las otras dos variedades considerablemente, correspondiendo a un maíz de grano grande. Las variedades ICTA B-9 y DK 390 se consideran granos pequeños (Salinas Moreno Y G. M., 2010). Los granos pequeños se recomiendan para la elaboración de tortilla dado que son más fáciles de hidratar (Salinas Moreno Y G. M., 2010).

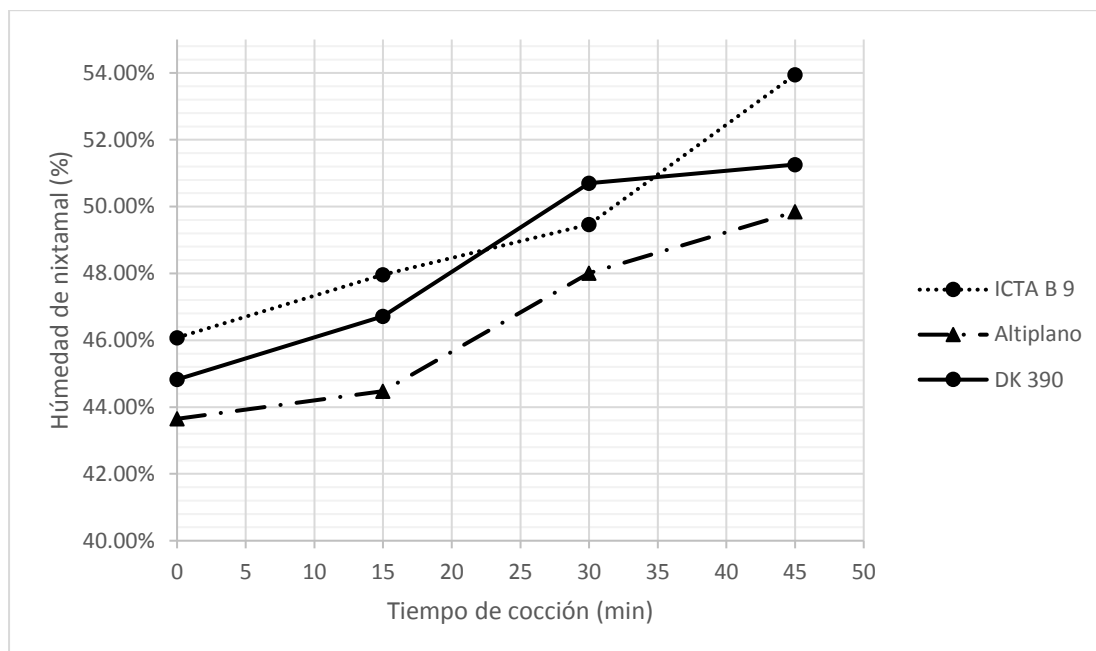
B. Parámetros de nixtamalización

1. Cocción óptima nixtamalización

Cuadro 4. Humedad del nixtamal y pérdida de materia seca de acuerdo al tiempo de cocción a 95.7°C

Maíz	Tiempo (min)	Humedad de nixtamal (%)	Pérdida de materia seca (%)
ICTA B 9	0	46.08%	2.86%
	15	47.96%	6.48%
	30	49.47%	6.09%
	45	53.95%	11.11%
Altiplano	0	43.65%	4.52%
	15	44.48%	4.52%
	30	48.01%	8.03%
	45	49.84%	10.63%
DK 390	0	44.83%	1.45%
	15	46.71%	2.77%
	30	50.70%	4.70%
	45	51.26%	6.36%

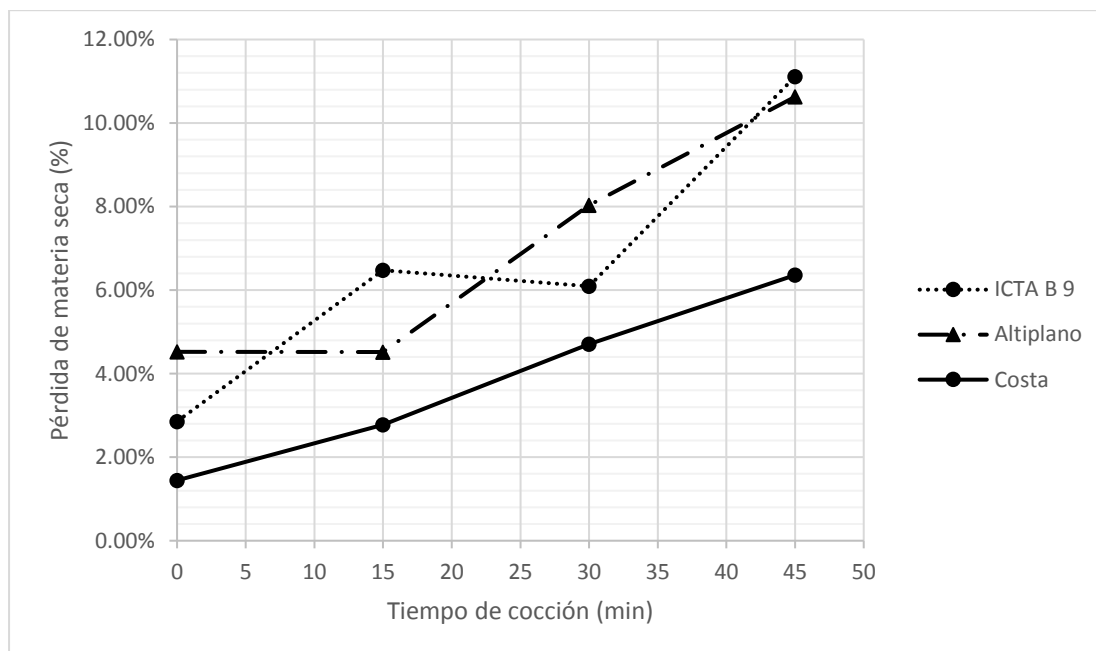
Figura 17. Humedad del nixtamal vs tiempo de cocimiento a 95.7°C



Se observa que el maíz ICTA B-9 absorbe humedad más fácilmente, seguido por la variedad DK 390, presentando tendencias similares. Por su parte el maíz del altiplano presenta una curva de absorción de humedad más lenta. Esto se explica por la humedad inicial de las variedades (14 a 16% para ICTA B-9 y DK 390 y 13.745% para altiplano) y al tamaño de los granos. En este caso la variedad del altiplano, que tiene granos grandes absorbe humedad de modo más lento. Otra explicación a este fenómeno se puede deber a que el maíz del altiplano sea más viejo y seco que las otras dos variedades (Bressani R., 2008).

Analizando la pérdida de materia seca, lo deseable para la variedad de maíz es la menor pérdida durante el proceso. Utilizando el método descrito por (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002) el maíz no debe sobrepasar el 5% de pérdida de materia seca para el tiempo óptimo de nixtamalización determinado. El maíz DK 390 es el único que presenta una tendencia a cumplir con este límite. La menor pérdida de sólidos se puede explicar por la mayor cantidad de pericarpio (Vásquez Carrillo G, 2013).

Figura 18. Pérdida de materia seca vs tiempo de cocimiento a 95.7°C



Cuadro 5. Tiempo óptimo de cocción determinado por regresión lineal para cada variedad de maíz

Maíz	Tiempo óptimo de cocción (min)	Coefficiente de correlación r ²
ICTA B 9	26	93.37%
Altiplano	45	95.23%
DK 390	32	93.20%

Desde el punto de vista del tiempo de cocción, es deseable que la hidratación sea más uniforme y en menor tiempo, por lo que en orden de aceptación se tiene la variedad ICTA B-9, DK 390 y altiplano como el más desfavorable.

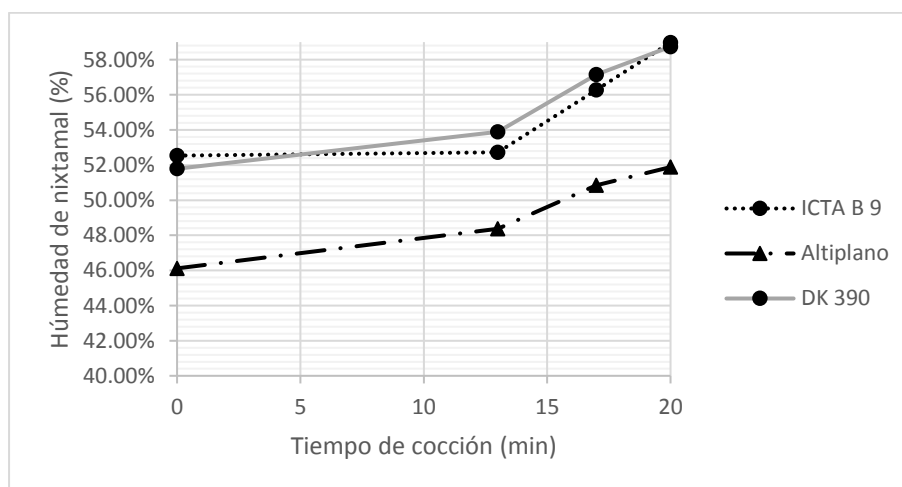
2. Cocción óptima nixtamalización a presión

Cuadro 6. Humedad del nixtamal y pérdida de materia seca de acuerdo al tiempo de cocción a presión de 16psi y 115 °C

Maíz	Tiempo (min)	Humedad de nixtamal (%)	Pérdida de materia seca (%)
ICTA B 9	0	52.54%	6.60%
	13	52.72%	7.57%
	17	56.28%	9.13%
	20	58.98%	11.11%
Altiplano	0	46.12%	3.40%
	13	48.38%	3.67%
	17	50.84%	6.02%
	20	51.88%	6.87%
DK 390	0	51.79%	5.56%
	13	53.88%	7.99%
	17	57.14%	8.16%
	20	58.74%	9.59%

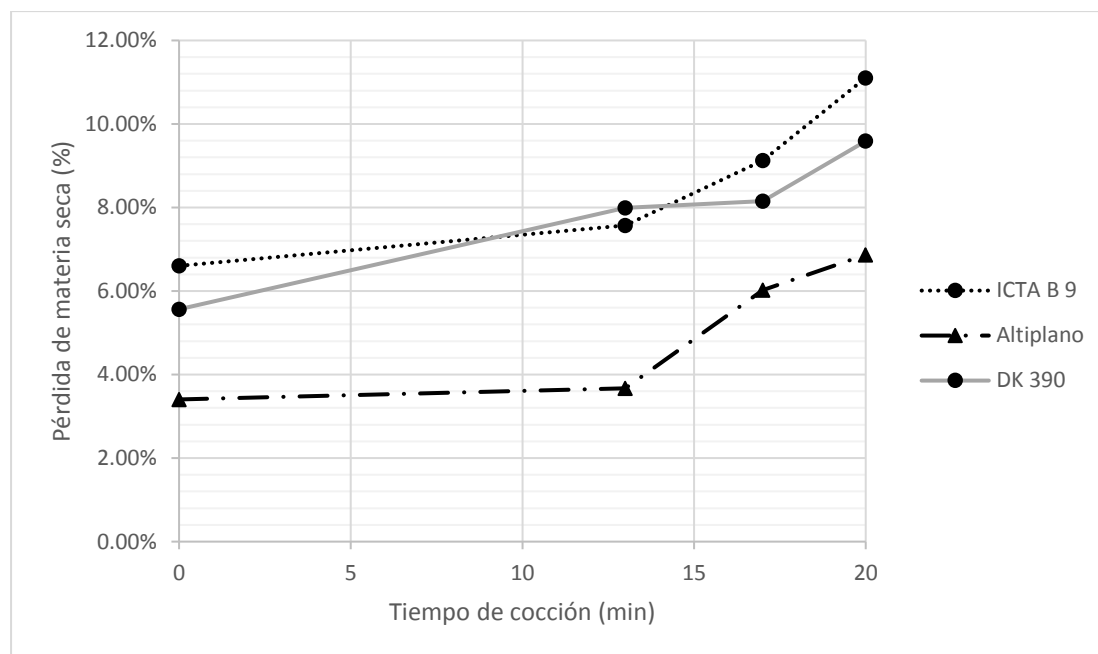
Los tiempos utilizados de 0, 13, 17 y 20 minutos, para la determinación del tiempo óptimo de cocción a presión, son una adaptación a los tiempos utilizados en el método descrito por Serna – Saldívar *et al.* (1993), dadas las condiciones aceleradas de este proceso en particular.

Figura 19. Humedad del nixtamal vs tiempo de cocimiento a presión de 16psi y 115 °C



A pesar de las diferencias marcadas de humedad vs tiempo en comparación con la nixtamalización normal, la tendencia se mantiene: la dificultad de la variedad del altiplano para hidratarse y la similitud de las variedades ICTA B-9 y DK 390.

Figura 20. Pérdida de materia seca vs tiempo de cocimiento a presión de 16psi y 115 °C



Diferente a lo esperado, la variedad del altiplano presenta menor pérdida de materia seca. Dado que no hay antecedente al respecto, se puede explicar este comportamiento debido a que con el proceso a presión se trabaja con altas temperaturas, pero con menos abrasión por hervor, y esto favorece el grano grande del altiplano en este factor.

Cuadro 7. Tiempo óptimo de cocción determinado por regresión lineal para cada variedad de maíz

Maíz	Tiempo óptimo de cocción (min)	Coefficiente de correlación r ²
ICTA B 9	12	63.76%
Altiplano	31	92.29%
DK 390	11	86.79%

La variedad del altiplano presenta el tiempo más alto de cocción, por lo que la humedad, densidad de grano y tamaño del grano siguen siendo fundamentales para la facilidad de cocción de las variedades.

3. Índice de flotación.

Cuadro 8. Índice de flotadores

Maíz	Flotadores $\bar{x} \pm 5$
ICTA B-9	34 ^a
Altiplano	40 ^b
DK 390	30 ^a
HSD	5

El índice de flotadores de las variedades ICTA B-9 y DK 390 no tiene diferencia significativa, mientras el que el maíz del altiplano presenta un índice más alto. La variedad del altiplano es de menor densidad, aun así, todos se encuentran como aceptables para la nixtamalización dado que el rango máximo es de 40 flotadores (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002). Las variedades ICTA B-9 y DK 390 pueden considerarse de granos duros y la variedad del altiplano, como de granos de dureza intermedia (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002).

4. **Pericarpio remanente.** No se tienen diferencias significativas para las variedades estudiadas en cuanto a pericarpio remanente se refiere. Aun así la variedad del altiplano refleja una media más baja, aunque no es conclusivo, refleja una mayor pérdida de pericarpio. Para la producción de tortillas de maíz es deseable que el pericarpio remanente sea mayor (Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos, 2002). Los hidrocoloides aportados por el pericarpio mejoran la textura, retardan el endurecimiento de la tortilla e incrementan el contenido de fibra, aunque pueden ocasionar problemas en el procesamiento, dado que tiende a acumularse en el alambre formador de la sábana de masa (Díaz, 2003).

Cuadro 9. Remoción de pericarpio

Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
Remoción de pericarpio $\bar{x} \pm 0.58$	3.33	2.33	3.00
HSD	NHDS		

C. Evaluación de la masa

Cuadro 10. Resultados de evaluación de la masa por medio del texturómetro

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
Adhesividad (N.m)		0.010 ^a	0.0186 ^b	0.0103 ^a	0.0119 ^a	0.0183 ^b	0.0129 ^a	0.0044
Dureza (Pa)		88491 ^a	139782 ^{ab}	153662 ^b	246449 ^c	195835 ^{bc}	202291 ^{bc}	85848
Índice de compresión – tensión		2.098 ^a	2.151 ^a	2.400 ^a	5.144 ^c	4.107 ^b	3.821 ^b	0.5009

Se observa una mayor adhesividad para la masa obtenida de la variedad del altiplano, independientemente del proceso utilizado. Para las demás variedades de maíz y proceso no se tienen diferencias significativas. La adhesividad es un factor poco deseable para la producción de tortillas, ya que hace difícil el procesamiento en los equipos haciéndose más pegajosa la masa en las superficies. En todos los casos, la dureza de la masa se incrementa al utilizar el proceso a presión. El efecto es significativo para ICTA B-9 y no es conclusivo para las otras dos variedades. El incremento de la dureza podría tener efectos negativos en cuanto a la fuerza requerida para formar las tortillas de masa. Este incremento de dureza se puede deber a que, a falta de reposo para la nixtamalización a presión, no se permite la recristalización del almidón del maíz (Gómez M H, 1992).

El índice de compresión – tensión generó las diferencias más significativas de acuerdo al proceso utilizado. Se interpreta de este modo que la masa producida por el proceso de nixtamalización tradicional definió la relación entre adhesividad y cohesión de la misma. El proceso de nixtamalización a presión generó un mayor índice, indicando que produce masas duras, y aunque son más adhesivas que las producidas por el proceso tradicional, la dureza expresada por la máxima fuerza de compresión domina la relación.

D. Textura de la tortilla

1. Tensión.

Cuadro 11. Resultados de la prueba biaxial de la tortilla a 2h de hacer la tortilla

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD
	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	
Fuerza máxima (N)	4.096 ^{bc}	2.935 ^{ab}	5.359 ^c	2.113 ^a	1.672 ^a	1.762 ^a	2.184
Elongación (mm)	13.629 ^b	14.398 ^b	12.332 ^{ab}	10.564 ^a	12.132 ^{ab}	10.190 ^a	3.927
Área hasta la fuerza máxima (N.m)	0.0198 ^b	0.0151 ^{ab}	0.0210 ^b	0.008 ^a	0.0076 ^a	0.0068 ^a	0.01198
Elasticidad (N/m)	449.465 ^b	307.155 ^a	686.532 ^c	289.490 ^a	193.535 ^a	238.761 ^a	175.62
Elasticidad hasta la fuerza máxima(N/m)	296.914 ^b	204.289 ^{ab}	435.119 ^c	199.396 ^{ab}	136.897 ^a	171.950 ^a	128.976

La fuerza máxima a la tensión para la nixtamalización a presión es significativamente diferente sin importar la variedad de maíz, estando en el rango de 2.113 a 1.762N. La variedad del altiplano nixtamalizada normalmente presenta la misma fuerza a la tensión, aunque incrementó levemente. Se interpreta que el proceso de nixtamalización a presión produce tortillas menos resistentes o más suaves a la tensión, sin importar la variedad. De las variedades procesadas normalmente, la del altiplano también genera tortillas suaves, mostrándose una diferencia significativa para las variedades ICTA B-9 y DK 390 procesadas normalmente que presentan más resistencia.

Se observa que las tortillas procesadas normalmente presentan una mayor elongación, lo cual puede ser beneficioso para tortillas destinadas para tacos, pero contraproducente para tortillas de mesa, dependiendo de la aplicación. Los mismos resultados se obtienen con los datos de área hasta la fuerza máxima que se interpreta como la resistencia a de la tortilla a la tensión.

La elasticidad presenta la misma tendencia que los otros factores medidos: una menor elasticidad para las tortillas procesadas a presión, siendo la diferencia el maíz del altiplano, que se puede considerar que se comporta igual procesada tradicionalmente. La mayor dureza de las variedades DK 390 e ICTA B 9 procesadas normalmente se vuelve a hacer evidente.

2. **Corte.** La fuerza al corte, interpretada en este estudio como la facilidad de ser masticada la tortilla, muestra que las tortillas procesadas a presión son más fáciles de cortar, siendo la diferencia el maíz del altiplano, que no presenta diferencia sin importar el proceso. Aunque el maíz ICTA B 9 no presenta una diferencia significativa, la media indica una mayor resistencia al corte, siendo la combinación que presenta más resistencia la variedad DK 390 nixtamalizada normalmente.

Cuadro 12. Resultados de la prueba al corte a 2h de hacer la tortilla

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
Fuerza máxima (N)		15.704 ^{ab}	6.217 ^a	27.965 ^b	8.337 ^a	5.144 ^a	6.133 ^a	21.042
Área a la fuerza máxima (N.m)		0.00593 ^{ab}	0.00251 ^a	0.00925 ^b	0.00334 ^a	0.00327 ^a	0.00214 ^a	0.00531

3. **Rolabilidad y flexibilidad subjetivas.** Todas las tortillas se comportaron de igual forma a dos horas de haberse procesado la tortilla: esto significa que no presentaron agrietamientos al doblarse de acuerdo al método utilizado. En cuanto a la flexibilidad, las tortillas procesadas a presión tienden a presentar menor resistencia que las procesadas normalmente.

Cuadro 13. Rolabilidad y flexibilidad subjetivas a 2h de hacer la tortilla

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			
	Parámetro	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
Rolabilidad		1	1	1	1	1	1
Flexibilidad		4	4	3	2	3	2

E. Calidad en el almacenamiento

El primer día todas las tortillas muestran una rolabilidad similar, pero al avanzar los días las tortillas producidas por la nixtamalización a presión muestran menor rolabilidad. Esto es más evidente en las variedades del altiplano y DK 390 a partir del día dos y tres. La variedad ICTA B 9 presenta mejores características de rolabilidad, aunque a través del cocimiento a presión en el día 5 presenta diferencias comparada con la muestra producida con nixtamalización normal.

Cuadro 14. Rolabilidad subjetiva durante el almacenamiento

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión		
	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
0	1	1	1	1	1	1
1	1	2	2	2	2	2
2	1	2	1	2	2	3
3	2	2	2	2	4	4
5	2	2	2	3	4	4

La flexibilidad mostró diferencias desde el día 0 en las tortillas producidas a presión o normal, mostrando mejores resultados con nixtamalización normal. Aunque la escala no permite visualizarlo, las tortillas producidas con nixtamalización a presión presentaron para todos los días un mayor fraccionamiento al aplicar la prueba.

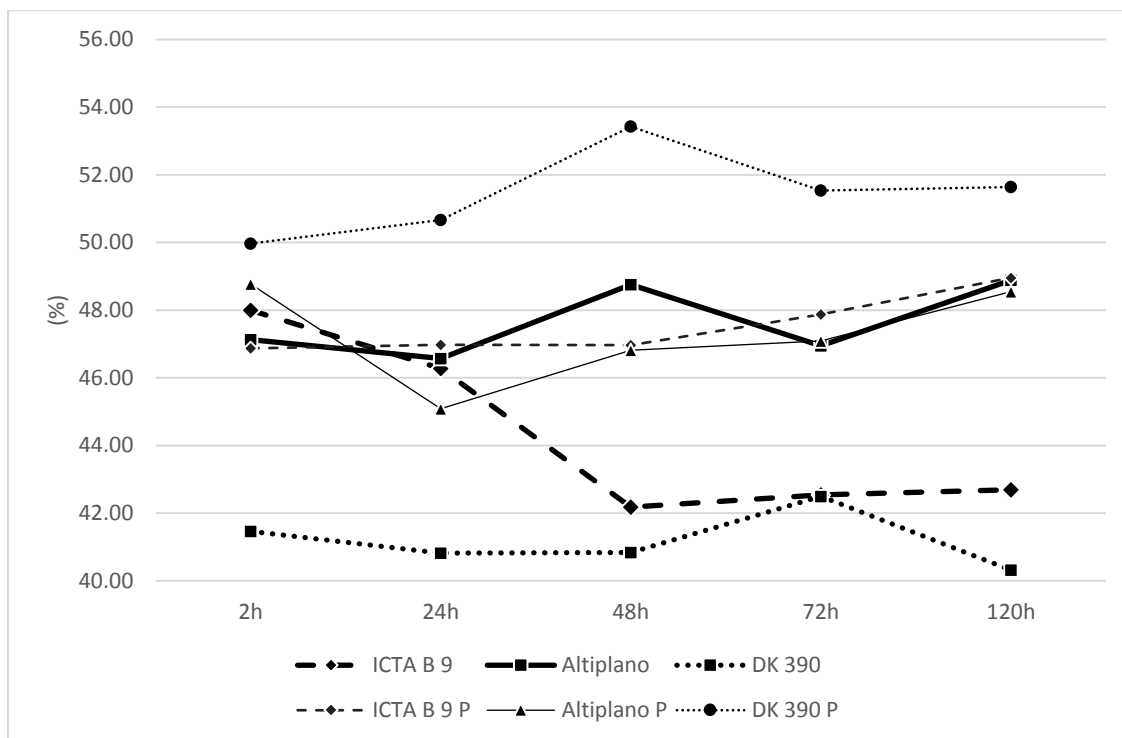
Cuadro 15. Flexibilidad subjetiva durante el almacenamiento

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión		
	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
0	4	4	3	2	3	2
1	2	2	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1

Cuadro 16. Humedad de la tortilla durante el almacenamiento

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD
	ICTA B 9 (%)	Altiplano (%)	DK 390 (%)	ICTA B 9 (%)	Altiplano (%)	DK 390 (%)	
2h	48.00 ^{fghi}	47.13 ^{efghi}	41.46 ^{ab}	46.87 ^{defg}	48.77 ^{fghi}	49.97 ^{ghij}	5.46
24h	46.28 ^{cdefg}	46.57 ^{cdefg}	40.82 ^{ab}	46.97 ^{defgh}	45.09 ^{bcdef}	50.67 ^{ghij}	
48h	42.18 ^{abc}	48.76 ^{fghi}	40.84 ^{ab}	46.97 ^{defgh}	46.81 ^{defg}	53.43 ^j	
72h	42.54 ^{abcde}	46.95 ^{defgh}	42.50 ^{abcd}	47.88 ^{fghi}	47.09 ^{defghi}	51.54 ^{hij}	
120h	42.69 ^{abcde}	48.88 ^{fghij}	40.32 ^a	48.96 ^{fghij}	48.55 ^{fghi}	51.64 ^{ij}	

Figura 21. Humedad de la tortilla (%) vs día de almacenamiento



En esta gráfica, la P que se agregó al nombre de las variedades de maíz en los títulos de las series, indica que se nixtamalizaron a presión.

Se observa que la humedad de la tortilla el primer día se puede considerar igual para todas las combinaciones a excepción de la tortilla producida con la variedad DK 390 y nixtamalización tradicional que presenta una baja humedad desde el primer día y hasta el fin del almacenamiento. La variedad ICTA B 9 procesada de forma tradicional disminuye su humedad al pasar de los días, siendo significativamente diferente a partir del día 2 de almacenamiento.

Todas las demás variedades y procesos al pasar de los días presentan las características: 1) poca o ninguna diferencia significativa en la humedad, 2) no hay pérdida de humedad al pasar días de almacenamiento en las condiciones de refrigeración. La humedad inicial de las tortillas para todas las variedades está levemente por afuera del rango recomendado de 45 a 46% (Salinas Moreno Y A. M., 2010); una tendencia similar fue observada en el mismo estudio, en donde la humedad se reducía un poco el primer día, y luego no se observaba una tendencia clara para los siguientes días de almacenaje.

Cuadro 17. Resultados de la prueba biaxial de la tortilla a 24 h de hacer la tortilla

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
Fuerza máxima (N)		3.621 ^a	2.417 ^a	6.809 ^b	1.727 ^a	2.489 ^a	2.520 ^a	3.775
Elongación (mm)		9.446 ^a	7.922 ^a	11.022 ^a	6.709 ^a	9.074 ^a	7.910 ^a	6.581
Área hasta la fuerza máxima (N.m)		0.0101 ^a	0.0070 ^a	0.0217 ^b	0.0043 ^a	0.0070 ^a	0.0067 ^a	0.01417
Elasticidad (N/m)		639.040 ^{ab}	461.540 ^a	990.396 ^b	337.194 ^a	443.803 ^a	499.667 ^a	474.236
Elasticidad hasta la fuerza máxima(N/m)		383.853 ^a	329.932 ^a	608.276 ^b	257.254 ^a	273.361 ^a	314.776 ^a	284.173

Para el primer día de almacenamiento, se observa que la variedad DK 390 procesada normalmente es la única significativamente diferente, presentando una mayor resistencia a la tensión, área hasta la fuerza máxima y elasticidad; aunque no sea significativamente diferente, las otras dos variedades producidas por el proceso normal inician una tendencia a ser más duras que las procesadas a presión. A las 2h de producida se encontraban diferencias más significativas entre las tortillas de acuerdo al proceso utilizado, variando la tendencia a un día de haberse producido.

Cuadro 18. Resultados de la prueba al corte a 24 h de hacer la tortilla

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
Fuerza máxima (N)		21.004 ^b	12.269 ^a	29.807 ^c	11.704 ^a	12.690 ^a	11.381 ^a	8.431
Área hasta la fuerza máxima (N.m)		0.00878 ^b	0.00503 ^a	0.01086 ^b	0.00471 ^a	0.00482 ^a	0.00394 ^a	0.002915

La prueba al corte, si presenta mayores diferencias a las 24 horas de haberse procesado para las tortillas producidas por nixtamalización normal para las variedades ICTA B 9 y DK 390. La variedad del altiplano producida de forma normal se puede considerar de igual comportamiento al procesarse por los dos métodos.

Cuadro 19. Resultados de la prueba biaxial de la tortilla a 48h de hacer la tortilla

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
Fuerza máxima (N)		6.180 ^{ab}	3.680 ^{bc}	6.864 ^a	2.468 ^c	2.426 ^c	1.900 ^c	4.846
Elongación (mm)		11.450	10.176	10.734	8.601	9.243	7.450	NHDS
Área hasta la fuerza máxima (N.m)		0.0181 ^{bc}	0.0113 ^{abc}	0.0207 ^c	0.0062 ^a	0.0067 ^{ab}	0.0049 ^a	0.0154
Elasticidad (N/m)		1168.481 ^b	719.209 ^{ab}	1199.108 ^b	542.438 ^a	492.233 ^a	411.737 ^a	813.946
Elasticidad hasta la fuerza máxima(N/m)		562.211 ^{ab}	368.362 ^{ab}	631.754 ^b	295.614 ^{ab}	261.604 ^{ab}	256.123 ^a	491.321

A las 48 horas de haberse producido, la tendencia sigue siendo la menor resistencia a la tensión y menor elasticidad de las tortillas producidas con el método a presión, y la variedad del altiplano procesada normalmente. Para la prueba al corte se observa la misma tendencia.

Cuadro 20. Resultados de la prueba al corte a 48h de hacer la tortilla

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
Fuerza máxima (N)		32.546 ^b	16.159 ^a	33.043 ^b	13.614 ^a	12.309 ^a	10.974 ^a	9.940
Área hasta la fuerza máxima (N.m)		0.01355 ^b	0.00672 ^a	0.01419 ^b	0.00505 ^a	0.00480 ^a	0.00371 ^a	0.00482

Cuadro 21. Resultados de la prueba biaxial de la tortilla a 72h de hacer la tortilla

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
Fuerza máxima (N)		8.525 ^b	3.016 ^a	6.652 ^b	1.907 ^a	1.998 ^a	2.868 ^a	3.638
Elongación (mm)		12.229 ^c	11.782 ^c	10.596 ^{bc}	7.220 ^a	6.898 ^a	8.938 ^{ab}	3.439
Área hasta la fuerza máxima (N.m)		0.0264 ^b	0.0091 ^a	0.0205 ^b	0.0046 ^a	0.0049 ^a	0.0075 ^a	0.0114
Elasticidad (N/m)		1471.7 ^c	717.2 ^{ab}	1068.3 ^{bc}	427.4 ^a	454.3 ^a	597.1 ^a	593
Elasticidad hasta la fuerza máxima(N/m)		698.4 ^b	256.1 ^a	629.6 ^b	263.6 ^a	288.9 ^a	318.3 ^a	304.8

Cuadro 22. Resultados de la prueba al corte a 72h de hacer la tortilla

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
Fuerza máxima (N)		29.402 ^b	14.732 ^a	30.778 ^b	14.246 ^a	13.874 ^a	13.410 ^a	7.108
Área hasta la fuerza máxima (N.m)		0.01275 ^b	0.00604 ^a	0.01268 ^b	0.00485 ^a	0.00521 ^a	0.00450 ^a	0.00246

A las 72 horas de producida, las diferencias entre las tortillas continúan con la misma tendencia, como se observa para las pruebas a la tensión y al corte. A las 120 horas de producida, se observa que se diferencian significativamente las tortillas producidas con la nixtamalización a presión. Incluso la variedad del altiplano procesada normalmente ya es más resistente o dura que las variedades producidas a presión. Para la prueba al corte se muestra la misma tendencia, aunque no se diferencie significativamente la variedad del altiplano procesada normalmente, de las variedades procesadas a presión.

Cuadro 23. Resultados de la prueba biaxial de la tortilla a 120 h de hacer la tortilla

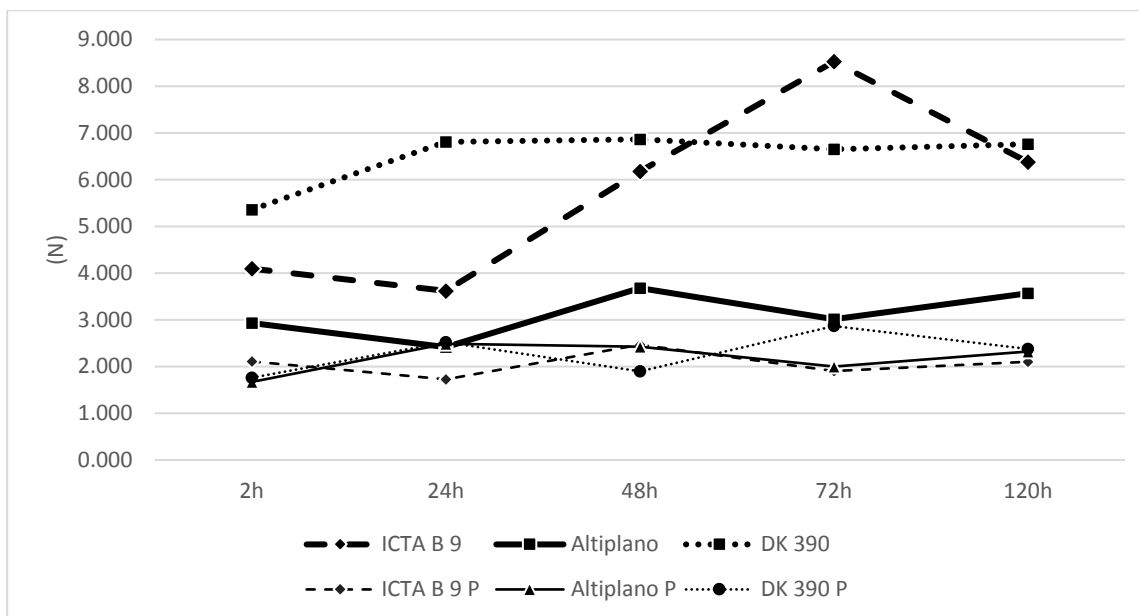
Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	
Fuerza máxima (N)	6.378 ^c	3.566 ^b	6.761 ^c	2.103 ^a	2.326 ^a	2.381 ^a	1.304
Elongación (mm)	9.921 ^a	8.653 ^a	10.043 ^a	8.456 ^a	8.040 ^a	7.872 ^a	3.103
Área hasta la fuerza máxima (N.m)	0.0179 ^c	0.0096 ^b	0.0198 ^c	0.0058 ^a	0.0057 ^a	0.0058 ^a	0.0034
Elasticidad (N/m)	1186.6 ^c	770.0 ^b	1255.8 ^c	456.6 ^a	471.6 ^a	562.5 ^{ab}	282.9
Elasticidad hasta la fuerza máxima(N/m)	643.1 ^c	412.2 ^b	672.8 ^c	249.3 ^a	290.0 ^a	309.1 ^{ab}	144.4

Cuadro 24. Resultados de la prueba al corte a 120 h de hacer la tortilla

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	
Fuerza máxima (N)	31.299 ^b	16.613 ^a	36.533 ^b	14.814 ^a	12.180 ^a	12.693 ^a	8.044
Área hasta la fuerza máxima (N.m)	0.01233 ^b	0.00680 ^a	0.01357 ^b	0.00588 ^a	0.00501 ^a	0.00453 ^a	0.00377

En la Figura se muestra la comparación de la fuerza máxima a la tensión de acuerdo al día de almacenamiento. Se observa que, desde las dos horas de haberse producido, se inicia una tendencia de diferenciación de la resistencia a la tensión entre las tortillas de acuerdo al proceso. Aunque la variedad utilizada genera diferencias, el proceso utilizado es más determinante en este factor, reflejándose en menor resistencia a la tensión al nixtamalizar a presión.

Figura 22. Fuerza máxima a la tensión de la tortilla (N) vs día de almacenamiento



En esta gráfica, la P que se agregó al nombre de las variedades de maíz en los títulos de las series, indica que se nixtamalizaron a presión.

Cuadro 25. Resultados ANOVA factorial fuerza máxima a la tensión de la tortilla (N) vs día de almacenamiento

```

Response: FUERZAMAXIMA
          Sum Sq Df F value    Pr(>F)
DIA          17.850  4  5.1109 0.001305 **
MAIZPROCESO 289.827  5 66.3884 < 2.2e-16 ***
DIA:MAIZPROCESO 41.620 20  2.3834 0.005071 **
Residuals    52.388 60
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

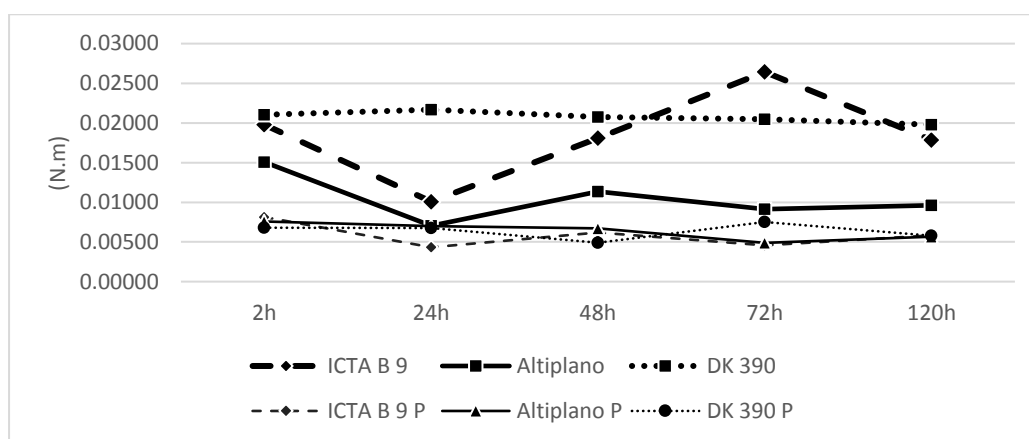
```

Cuadro 26. Fuerza máxima a la tensión (N) vs día de almacenamiento

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD
	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	
2h	4.096 ^{abcde}	2.935 ^{ab}	5.359 ^{bcde}	2.113 ^a	1.672 ^a	1.762 ^a	3.544
24h	3.621 ^{abc}	2.417 ^{ab}	6.809 ^{ef}	1.727 ^a	2.489 ^{ab}	2.520 ^{ab}	
48h	6.180 ^{cdef}	3.680 ^{abcd}	6.864 ^{ef}	2.468 ^{ab}	2.426 ^{ab}	1.900 ^a	
72h	8.525 ^f	3.016 ^{ab}	6.652 ^{def}	1.907 ^a	1.998 ^a	2.868 ^{ab}	
120h	6.378 ^{cdef}	3.566 ^{abc}	6.761 ^{ef}	2.103 ^a	2.326 ^a	2.381 ^{ab}	

Como era de esperarse, las muestras se diferencian más por la combinación de variedad y proceso que por el día. Al transcurrir los días todas las muestras tienden a incrementar su resistencia a la tensión, aunque es más relevante el proceso utilizado. El área bajo la curva del test de resistencia a la tensión expresa el trabajo que se requirió para hacer fallar el material de la tortilla. Los resultados muestran tendencias diferentes a la fuerza máxima a la tensión: o se mantuvo o se redujo al pasar los días, esto debido a que este resultado también depende de la elongación que admite el material de la tortilla. Se muestra que de forma general las variedades DK390 e ICTA B9 se comportan de forma similar. Siendo determinante el proceso utilizado. En el caso de la variedad del altiplano, aunque es más resistente al procesarse normalmente, la diferencia es menor al compararse con la tortilla procesada a presión, y poco significativa en términos estadísticos.

Figura 23. Área de la curva a la fuerza máxima a la tensión de la tortilla (N.m) vs día de almacenamiento



En esta gráfica, la P que se agregó al nombre de las variedades de maíz en los títulos de las series, indica que se nixtamalizaron a presión.

Cuadro 27. Resultados ANOVA factorial área de la curva a la fuerza máxima a la tensión de la tortilla (N.m) vs día de almacenamiento

```

Response: AREAFUERZAMAXIMA
          Sum Sq Df F value    Pr(>F)
DIA          0.0000989  4  2.6028  0.044724 *
MAIZPROCESO  0.0032179  5 67.7262 < 2.2e-16 ***
DIA:MAIZPROCESO 0.0004634 20  2.4383  0.004145 **
Residuals    0.0005702  60
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

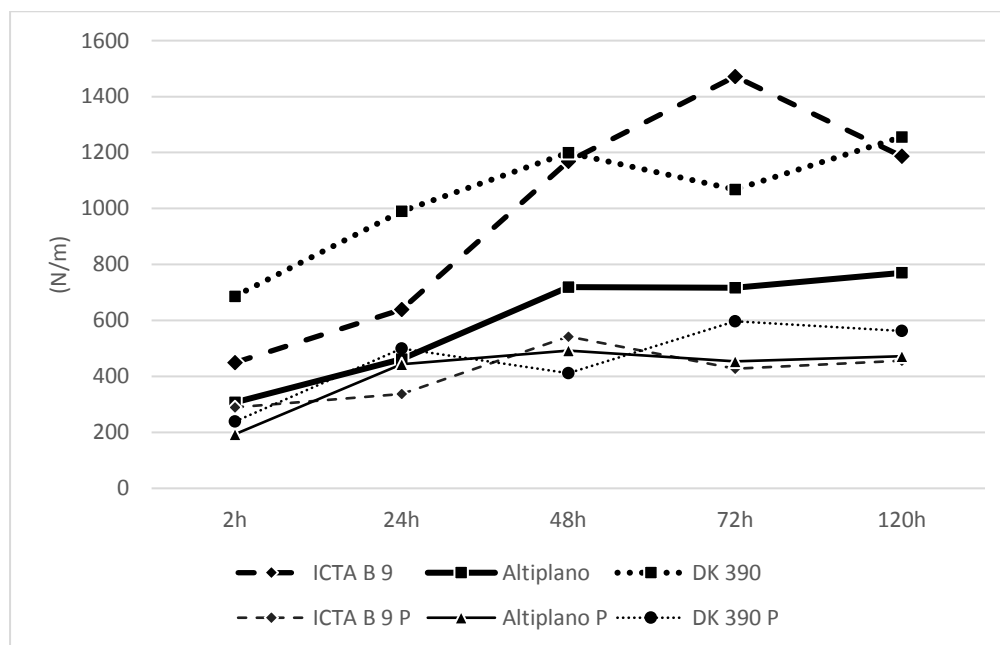
```

Cuadro 28. Área bajo la curva a la fuerza máxima a la tensión (N.m) vs día de almacenamiento

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
2h		0.01979 ^{cdefgh}	0.01507 ^{bcdefg}	0.02105 ^{fgh}	0.00814 ^{abcd}	0.00758 ^{ab}	0.00681 ^{ab}	0.01169
24h		0.01007 ^{abcde}	0.00704 ^{ab}	0.02167 ^{gh}	0.00433 ^a	0.00699 ^{ab}	0.00675 ^{ab}	
48h		0.01810 ^{defgh}	0.01134 ^{abcdef}	0.02074 ^{fgh}	0.00621 ^{ab}	0.00672 ^{ab}	0.00490 ^{ab}	
72h		0.02643 ^h	0.00913 ^{abcd}	0.02046 ^{fgh}	0.00456 ^a	0.00488 ^{ab}	0.00751 ^{abc}	
120h		0.01786 ^{defgh}	0.00961 ^{abcd}	0.01978 ^{efgh}	0.00584 ^{ab}	0.00566 ^{ab}	0.00578 ^{ab}	

Mientras más alto sea el valor de la elasticidad se puede esperar que el material se comporte como un resorte más difícil de estirar: esto es lo que reflejan los resultados de la Figura, en la que las tortillas producidas con variedades DK 390 e ICTA B9 y altiplano con nixtamalización normal tienen elasticidades más altas en ese orden de superior a inferior y conforme pasan los días, se incrementa el valor a poco más del doble. La elasticidad de las variedades producidas a presión, son más bajas desde el inicio, y aunque muestran un incremento, se diferencian significativamente de las variedades producidas normalmente.

Figura 24. Elasticidad a la tensión de la tortilla (N/m) vs día de almacenamiento



En esta gráfica, la P que se agregó al nombre de las variedades de maíz en los títulos de las series, indica que se nixtamalizaron a presión.

Cuadro 29. Resultados ANOVA factorial elasticidad a la tensión de la tortilla (N/m) vs día de almacenamiento

```

Response: ELASTICIDAD
          Sum Sq Df F value    Pr(>F)
DIA          2603037  4 32.2000  2.49e-14 ***
MAIZPROCESO  6206516  5 61.4206 < 2.2e-16 ***
DIA:MAIZPROCESO 1314131 20  3.2512 0.0002158 ***
Residuals    1212593 60
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

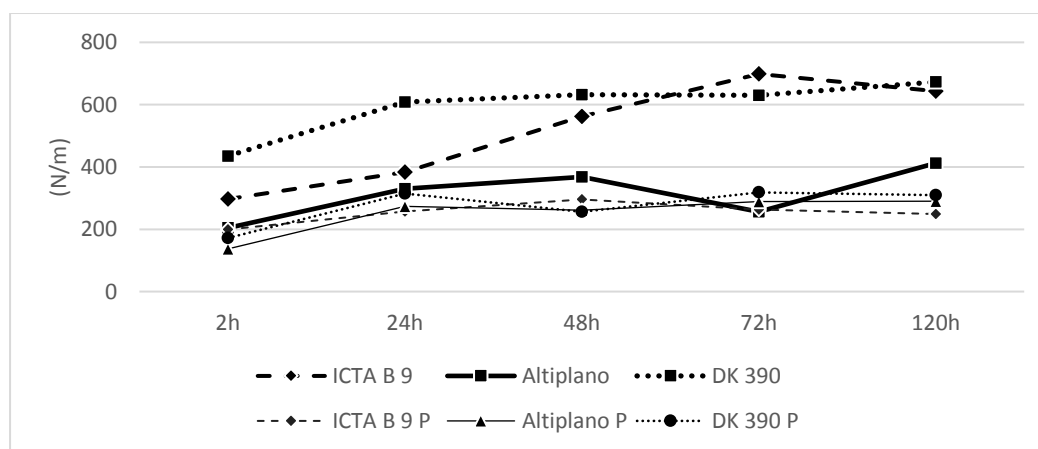
```

Cuadro 30. Elasticidad a la tensión (N/m) vs día de almacenamiento

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
2h		449 ^{abc}	307 ^{ab}	687 ^{bcde}	289 ^{ab}	194 ^a	239 ^a	539
24h		639 ^{abcde}	462 ^{abc}	990 ^{defgh}	337 ^{abc}	444 ^{abc}	500 ^{abc}	
48h		1168 ^{efghi}	719 ^{bcdef}	1199 ^{ghi}	542 ^{abcd}	492 ^{abc}	412 ^{abc}	
72h		1472 ⁱ	717 ^{bcdef}	1068 ^{efghi}	427 ^{abc}	454 ^{abc}	597 ^{abcd}	
120h		1187 ^{ghi}	770 ^{cdefg}	1256 ^{hi}	457 ^{abc}	472 ^{abc}	563 ^{abcd}	

El análisis estadístico muestra que el factor más importante es la combinación variedad-proceso, seguido por el día, y que hay una interacción con el día de almacenamiento, pero es menos significativa.

Figura 25. Elasticidad a la fuerza máxima de tensión de la tortilla (N/m) vs día de almacenamiento



En esta gráfica, la P que se agregó al nombre de las variedades de maíz en los títulos de las series, indica que se nixtamalizaron a presión.

Cuadro 31. Resultados ANOVA factorial elasticidad a la fuerza máxima de tensión de la tortilla (N/m) vs día de almacenamiento

```

Response: ELASTICIDADFUERZAMAXIMA
          Sum Sq Df F value    Pr(>F)
DIA          426579   4 15.9031 6.288e-09 ***
MAIZPROCESO 1688473   5 50.3577 < 2.2e-16 ***
DIA:MAIZPROCESO 258647 20  1.9285  0.02647 *
Residuals    402355 60
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Cuadro 32. Elasticidad a la fuerza máxima de tensión (N/m) vs día de almacenamiento

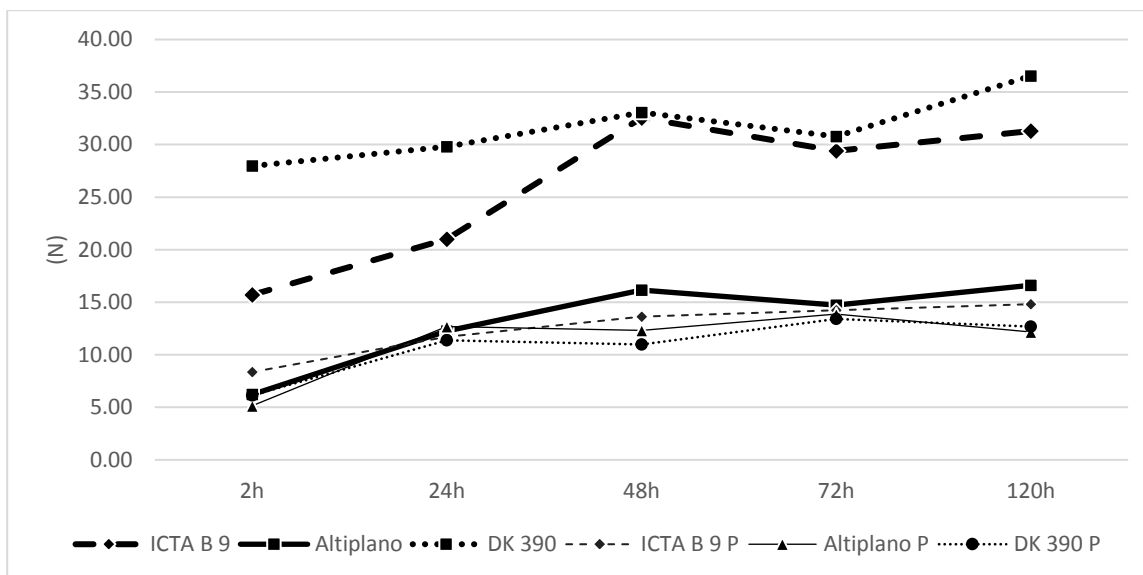
Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
2h		297 ^{abc}	204 ^{abc}	435 ^{cdefgh}	199 ^{abc}	137 ^a	172 ^{ab}	311
24h		384 ^{abcdef}	330 ^{abcd}	608 ^{efgh}	257 ^{abc}	273 ^{abc}	315 ^{abcd}	
48h		562 ^{defgh}	368 ^{abcde}	632 ^{fgh}	296 ^{abc}	262 ^{abc}	256 ^{abc}	
72h		698 ^h	256 ^{abc}	630 ^{efgh}	264 ^{abc}	289 ^{abc}	318 ^{abcd}	
120h		643 ^{fgh}	412 ^{bcdefg}	673 ^{gh}	249 ^{abc}	290 ^{abc}	309 ^{abcd}	

La elasticidad a la fuerza máxima (Ramirez Wong B., Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation, 1993) muestra las mismas tendencias que las obtenidas con la elasticidad tomada directamente de la curva.

Aunque las diferencias son menos significativas al pasar de los días, dada la variación de la elongación, se reconoce que es un método más estandarizado de medición.

Los resultados de la prueba al corte, al pasar los días de almacenaje, muestran similares tendencias que las obtenidas con la prueba a la tensión, aunque son menos confusas, y expresan diferentes propiedades físicas del material. Se observa que desde el primer día las variedades DK 390, e ICTA B 9, en ese orden de superior a inferior procesadas normalmente son más resistentes al corte que las mismas variedades procesadas a presión. En esta prueba, la variedad del altiplano no muestra ninguna diferencia significativa con todas las variedades procesadas a presión, y muestra una tendencia similar al pasar de los días de almacenamiento, siendo considerable el incremento de la resistencia al corte durante el primer día.

Figura 26. Fuerza máxima al corte (N) vs día de almacenamiento



En esta gráfica, la P que se agregó al nombre de las variedades de maíz en los títulos de las series, indica que se nixtamalizaron a presión.

Cuadro 33. Resultados ANOVA factorial fuerza máxima al corte de la tortilla (N) vs día de almacenamiento

```

Response: FUERZAMAXIMACORTE
          Sum Sq Df F value    Pr(>F)
DIA          1252.0  4  53.0035 < 2.2e-16 ***
MAIZPROCESO  5483.0  5 185.6903 < 2.2e-16 ***
DIA:MAIZPROCESO 361.7 20  3.0627 0.0004245 ***
Residuals    354.3  60
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

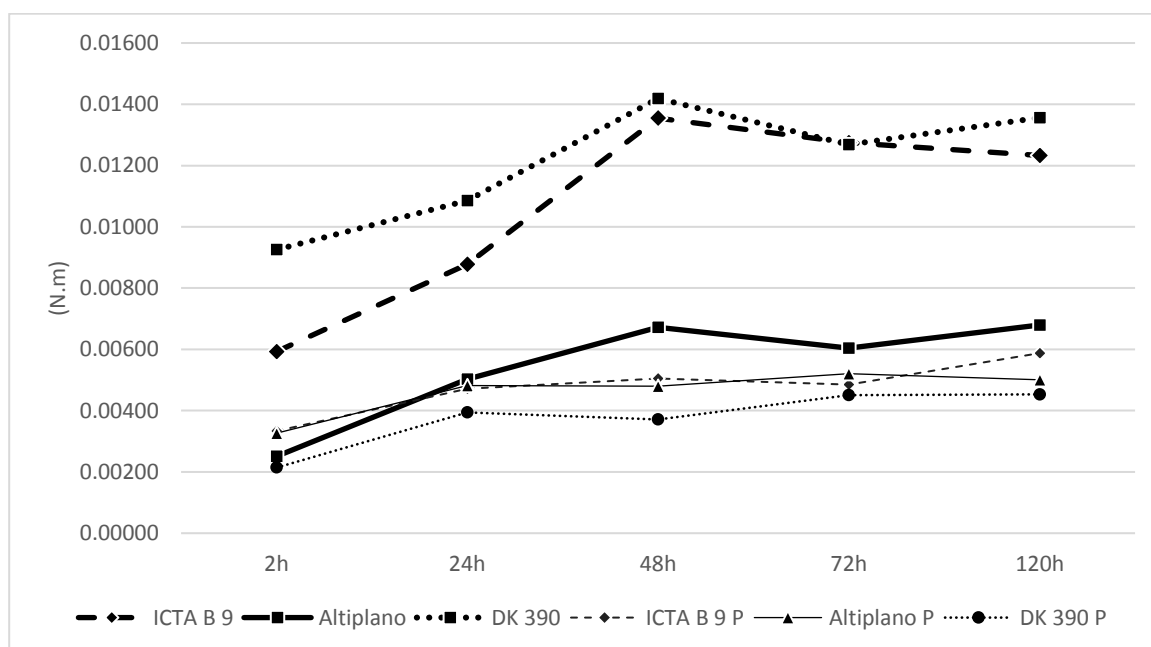
```

Cuadro 34. Fuerza máxima al corte (N) vs día de almacenamiento

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD
	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	
2h	15.70 ^{bcd}	6.22 ^{ab}	27.96 ^{fg}	8.36 ^{abc}	5.14 ^a	6.13 ^{ab}	9.22
24h	21.00 ^{ef}	12.27 ^{abcd}	29.81 ^{gh}	11.70 ^{abcd}	12.69 ^{bcd}	11.38 ^{abcd}	
48h	32.55 ^h	16.16 ^{cdef}	33.04 ^h	13.61 ^{bcd}	12.31 ^{abcd}	10.97 ^{abcd}	
72h	29.40 ^{gh}	14.73 ^{cde}	30.78 ^{gh}	14.25 ^{cde}	13.87 ^{bcd}	13.41 ^{bcd}	
120h	31.30 ^h	16.61 ^{def}	36.53 ^h	14.81 ^{cde}	12.18 ^{abcd}	12.69 ^{bcd}	

Es claro el efecto de los días de almacenaje sobre la resistencia al corte, al incrementarse, y de la combinación variedad-proceso. También se muestra poca interacción entre ambos factores sobre la resistencia al corte. El área bajo la curva, que representa el trabajo que costó hacer fallar la tortilla al someterse a corte, muestra tendencias similares a las discutidas para la fuerza máxima al corte. Este estudio se puede ampliar por medio de la caracterización del almidón durante las etapas del proceso y producto terminado por los métodos descritos por Shujun W (2015) como microscopía, análisis reológico, análisis térmico, análisis de contenido de calcio, etc. Esto permitiría una explicación profunda acerca de las diferencias entre ambos procesos, y la forma de optimizar el producto obtenido del proceso alternativo.

Figura 27. Área bajo la curva de fuerza máxima al corte (N.m) vs día de almacenamiento



En esta gráfica, la P que se agregó al nombre de las variedades de maíz en los títulos de las series, indica que se nixtamalizaron a presión.

Se observa una relación inversa con la humedad de la tortilla y la resistencia a la tensión y al corte de la misma. Las variedades ICTA B9 y DK 390 son similares en cuanto al comportamiento, por lo que es probable que de haber iniciado con una humedad similar en el procesamiento normal (46 a 48%) y no al 42% como fue el caso de la variedad DK 390, las curvas de resistencia al corte y a la tensión tendrían comportamiento similar desde el primer día.

Cuadro 35. Resultados ANOVA factorial área bajo la curva de fuerza máxima al corte de la tortilla (N.m) vs día de almacenamiento

```

Response: AREAFUERZAMAXIMACORTE
          Sum Sq Df F value Pr(>F)
DIA      0.00020321  4  56.8677 < 2.2e-16 ***
MAIZPROCESO 0.00090357  5 202.2876 < 2.2e-16 ***
DIA:MAIZPROCESO 0.00007995 20  4.4746 3.292e-06 ***
Residuals 0.00005360 60
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

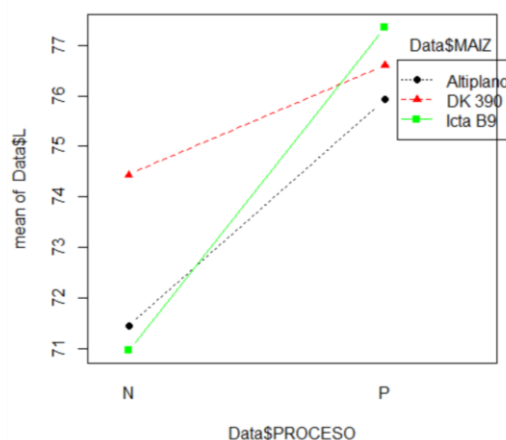
Cuadro 36. Prueba de Tukey área bajo la curva de la fuerza máxima al corte (N.m) vs día de almacenamiento

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD	
	Maíz	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano		DK 390
2h		0.00593 ^{bcdefg}	0.00251 ^{ab}	0.00925 ^{ghi}	0.00334 ^{abcd}	0.00327 ^{abc}	0.00214 ^a	0.00358
24h		0.00878 ^{hi}	0.00503 ^{abcdef}	0.01086 ^{ij}	0.00471 ^{abcdef}	0.00482 ^{abcdef}	0.00394 ^{abcdef}	
48h		0.01355 ^{jk}	0.00672 ^{efgh}	0.01419 ^k	0.00505 ^{abcdef}	0.00480 ^{abcdef}	0.00371 ^{abcde}	
72h		0.01275 ^{jk}	0.00604 ^{defgh}	0.01268 ^{jk}	0.00485 ^{abcdef}	0.00521 ^{bcdefg}	0.00450 ^{abcdef}	
120h		0.01233 ^{jk}	0.00680 ^{fgh}	0.01357 ^{jk}	0.00588 ^{defgh}	0.00501 ^{abcdef}	0.00453 ^{abcdef}	

F. Color

La lectura se obtuvo por medio de un colorímetro, colocado sobre la superficie de la tortilla, utilizando la escala de CIE L*, a*, b* (Mathias Rettig K., 2014).

Figura 28. Factor L, CIE para las tortillas de acuerdo a la variedad del maíz y el proceso utilizado (N, para indicar normal y P, para indicar presión)



Cuadro 37. Resultados ANOVA para el factor L, CIE

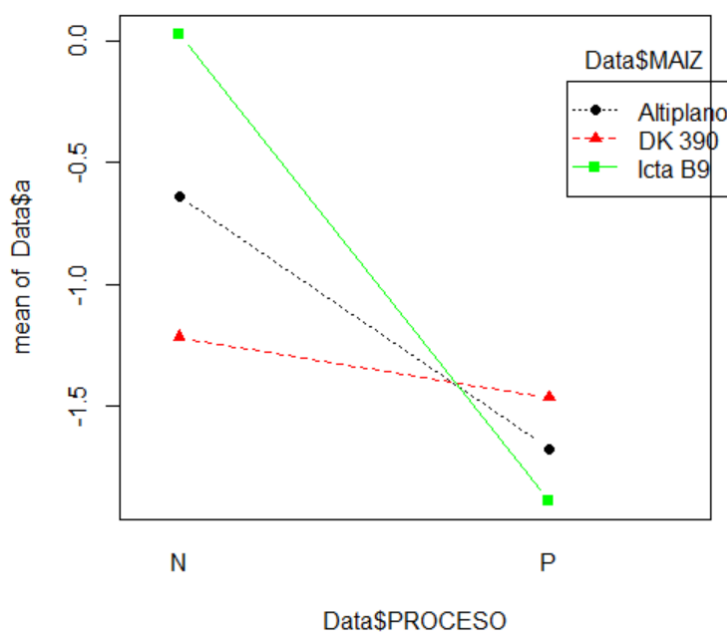
```

Anova Table (Type II tests)

Response: L
          Sum Sq Df F value    Pr(>F)
PROCESO   140.963  1 160.810 3.953e-12 ***
MAIZ       17.926  2  10.225 0.0006140 ***
PROCESO:MAIZ 22.244  2  12.688 0.0001739 ***
Residuals  21.038 24
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Figura 29. Factor a, CIE para las tortillas de acuerdo a la variedad del maíz y el proceso utilizado (N, para indicar normal y P, para indicar presión)



Cuadro 38. Resultados ANOVA para factor a, CIE

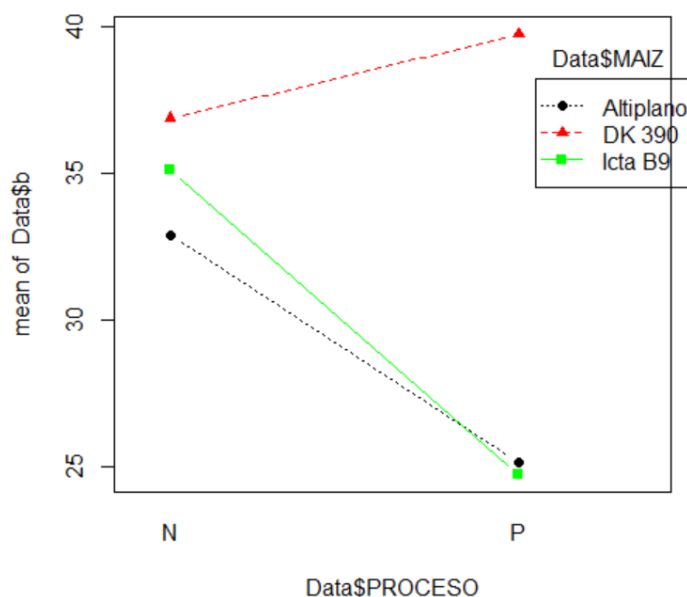
```

Anova Table (Type II tests)

Response: a
          Sum Sq Df F value    Pr(>F)
PROCESO   8.4801  1 59.4954 5.984e-08 ***
MAIZ       0.8437  2  2.9598 0.0709712 .
PROCESO:MAIZ 3.4477  2 12.0945 0.0002329 ***
Residuals  3.4208 24
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Figura 30. Factor b, CIE para las tortillas de acuerdo a la variedad del maíz y el proceso utilizado (N, para indicar normal y P, para indicar presión)



Cuadro 39. Resultados ANOVA para factor b, CIE

```

Anova Table (Type II tests)

Response: b
      Sum Sq Df F value    Pr(>F)
PROCESO      193.85  1 123.169 6.187e-11 ***
MAIZ         525.41  2 166.915 8.287e-15 ***
PROCESO:MAIZ 244.39  2  77.638 3.313e-11 ***
Residuals    37.77 24
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```


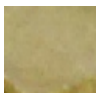

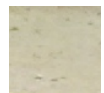

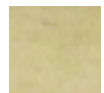
Cuadro 40. Factores CIE $L^*a^*b^*$ para las tortillas de acuerdo al proceso y maíz

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD
	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	
L^*	70.974 ^a	71.454 ^a	74.432 ^b	77.348 ^c	75.924 ^{bc}	76.594 ^c	2.400
a^*	0.024 ^c	-0.640 ^{bc}	-1.216 ^{ab}	-1.884 ^a	-1.674 ^a	-1.464 ^a	0.968
b^*	35.114 ^{bc}	32.882 ^b	36.892 ^c	24.756 ^a	25.142 ^a	39.738 ^d	3.2159

Las tortillas procesadas con nixtamalización a presión presentan una mayor luminosidad, siendo significativo para todas las variedades. Los valores son similares a los reportados para tortillas de diferentes variedades de maíz (Díaz, 2003). Para el factor a* se reportan valores negativos para las tortillas procesadas a presión, teniendo de la escala central hacia el verde.

Las tortillas procesadas con nixtamalización normal se asemejan más a los valores reportados por (Díaz, 2003), partiendo del centro hacia lo rojo de la escala. Las diferencias son significativas según se observa. El factor b* presenta tres efectos de acuerdo al ANOVA: dependencia del proceso, variedad del maíz y la interacción de estos factores. En todos los casos se encuentran en la escala positiva indicando tonos amarillos, y los valores son similares a los reportados por (Díaz, 2003).

Cuadro 41. Colores de las tortillas preparadas

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			
	Variedad	ICTA B-9	Altiplano	DK 390	ICTA B-9	Altiplano	DK 390
Color							

G. Análisis sensorial

Se observa en la Figura una mayor aceptación para las tortillas producidas a presión, pero de acuerdo al ANOVA se encuentran diferencias significativas de acuerdo a la variedad de maíz utilizada, y no así por el proceso utilizado: específicamente de la variedad DK 390 y las otras variedades. Tampoco es significativa la interacción de la variedad y el proceso utilizado. Se puede concluir que hay muy poca o ninguna diferencia entre la aceptación para las tortillas producidas por uno u otro proceso.

Cuadro 42. Resultados ANOVA para la aceptación

```

Response: ACEPTACION
          Sum Sq  Df F value  Pr(>F)
PROCESO      4.19   1  1.3158  0.25236
MAIZ        29.77   2  4.6760  0.01008 *
PROCESO:MAIZ 11.68   2  1.8349  0.16162
Residuals   859.43 270
---
Signif. codes:  0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

De acuerdo al ANOVA realizado para los resultados de la evaluación del sabor, se encuentra que la variedad del maíz genera diferencias significativas y no así el proceso utilizado o la interacción de la variedad y el proceso. Al hacer las comparaciones por Tukey, la única diferencia encontrada es la pobre calificación que existe para la tortilla producida por la variedad DK 390 con nixtamalización normal. Las demás comparaciones indican que no hay diferencias significativas en el sabor de las tortillas de maíz evaluadas, de acuerdo al consumidor.

Figura 31. Aceptación de la tortilla de acuerdo a la variedad de maíz y proceso (N, para indicar normal y P, para indicar presión)

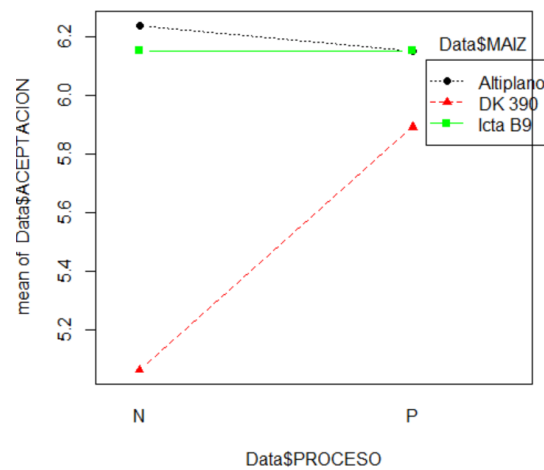
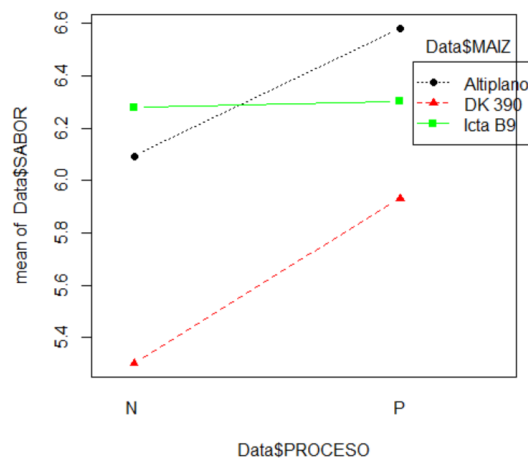


Figura 32. Sabor de la tortilla de acuerdo a la variedad de maíz y el proceso (N, para indicar normal y P, para indicar presión)



Cuadro 43. Resultados ANOVA para el sabor de las tortillas

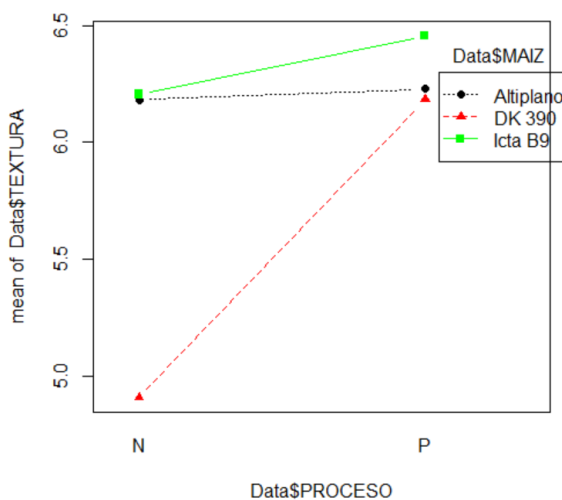
```

Response: SABOR
      Sum Sq Df F value Pr(>F)
PROCESO      9.31  1  2.9108 0.08922 .
MAIZ        28.00  2  4.3789 0.01351 *
PROCESO:MAIZ  4.31  2  0.6741 0.51055
Residuals   805.67 252
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

El ANOVA para la textura de las tortillas indica que la variedad del maíz y el proceso generan diferencias en esta propiedad de la tortilla. Al evaluar por Tukey no se encuentran diferencias significativas, entre la combinación mejor evaluada que es la variedad del altiplano a presión y la peor evaluada que es la variedad DK 390 procesada normalmente.

Figura 33. Textura de las tortillas de acuerdo a la variedad de maíz y proceso (N, para indicar normal y P, para indicar presión)



Cuadro 44. Resultados ANOVA para la textura de la tortilla

```

Anova Table (Type II tests)
Response: ITEXTURA
      Sum Sq Df F value Pr(>F)
PROCESO      18.03  1  5.3571 0.02142 *
MAIZ        31.23  2  4.6393 0.01049 *
PROCESO:MAIZ  19.02  2  2.8254 0.06112 .
Residuals   868.52 258
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Cuadro 45. Resultados de la prueba sensorial de las tortillas

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			HSD
	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	
Aceptación	6.152 ^b	6.239 ^b	5.065 ^a	6.152 ^b	6.152 ^b	5.891 ^{ab}	1.394
Textura	6.205 ^b	6.182 ^b	4.909 ^a	6.455 ^b	6.227 ^b	6.182 ^b	1.446
Sabor	6.279 ^{ab}	6.093 ^{ab}	5.302 ^a	6.302 ^{ab}	6.581 ^b	5.930 ^{ab}	1.467

Las gráficas muestran una mayor o igual aceptación para las tortillas producidas con la nixtamalización normal, pero la rigurosidad estadística establece que no existen diferencias significativas entre las tortillas producidas por uno u otro proceso, a excepción de la tortilla producida con variedad DK 390 y proceso normal: esto se podría explicar por la baja humedad inicial de dicha tortilla.

H. Costo

1. **Gas.** Para 600 libras de maíz, el consumo de gas L. P. para cocimiento a presión fue de 6.38 galones. Para la misma cantidad de maíz, realizando una nixtamalización normal, el consumo de gas L. P. fue de 10.85 galones. El troquelado depende de la cantidad de masa a procesar, y cada combinación de variedad y proceso conduce consumos diferentes de gas, todo en base a las 600 libras de maíz iniciales para este ejercicio.

Cuadro 46. Consumo de gas L. P. para la masa obtenida de la nixtamalización de 600lb de maíz (272.16kg)

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión		
	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
Masa (lb)	1286.27	1186.88	1313.18	1313.83	1373.63	1433.27
Gas (gal)	20.04	18.46	20.47	20.48	21.43	22.38

Cuadro 47. Costo (Q) del consumo de gas utilizado para procesar 600lb de maíz (272.16kg)

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión		
	ICTA B-9	Altiplano	DK 390	ICTA B-9	Altiplano	DK 390
Gas (gal)	30.89	29.31	31.32	26.86	27.81	28.76
Costo (Q)	494.23	468.95	501.08	429.72	444.94	460.11

Se observan costos similares en el consumo de gas. La mayor diferencia se debe al proceso de nixtamalización, que para esta cantidad de maíz es de 4.47 galones. En el troquelado y cocción de la tortilla, las diferencias de gas utilizado, se deben a las diferentes cantidades de masa generadas para cada combinación de variedad de maíz y proceso de nixtamalización.

2. **Energía eléctrica.** El tiempo de uso de los equipos, y la potencia de los motores que impulsan estos equipos brindan una idea de la energía utilizada para transformar el nixtamal.

Cuadro 48. Tiempo de uso de equipos

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			
	Variedad	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
Molienda (h)		1.34	1.31	1.23	1.29	1.38	1.40
Troquelado (h)		2.78	2.56	2.84	2.84	2.97	3.10

Cuadro 49. Potencia de motores por equipo

Proceso	Troquelado	Molienda
Troqueladora (kW)	3.73	0
Enfriador (kW)	0.746	0
Molino (kW)	0	7.46

Se determina el gasto energético en kWh y su costo de acuerdo al costo local de la energía eléctrica.

Cuadro 50. Costo (Q) por el uso de energía eléctrica de los equipos

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			
	Variedad	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
Molienda (kWh)		9.99	9.78	9.17	9.64	10.28	10.45
Troquelado (kWh)		12.43	11.47	12.70	12.70	13.28	13.86
Total (kWh)		22.42	21.25	21.87	22.34	23.56	24.31
Costo unitario (Q/kWh)		1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42
Costo (Q)		31.93	30.26	31.14	31.81	33.55	34.61

Se observa que, comparado con el costo del gas, la energía eléctrica aporta poco al costo de la tortilla. Cabe hacer la observación de que el costo del kWh puede ser más alto, de acuerdo a la potencia contratada o particularidades del servicio: este costo únicamente incluye el aporte al alumbrado público del 13% e IVA (impuesto al valor agregado del 12%) aplicable en el país (Comisión nacional de energía eléctrica, Guatemala, Centro América, 2018).

3. Mano de obra. En el cuadro 51 se presenta el personal requerido por proceso.

Cuadro 51. Personal requerido por proceso

Proceso	Personas
Nixtamalización	1
Molienda	2
Troquelado	3
Limpieza y preparación	3

Luego, los tiempos de proceso para las 600 libras de maíz nixtamalizados, se presentan en el cuadro.

Cuadro 52. Tiempos de proceso (h) por actividad para 600 libras de maíz
(272.16kg)

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión		
	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
Nixtamalización (h)	1.83	1.83	1.83	3.50	3.50	3.50
Molienda (h)	1.34	1.31	1.23	1.29	1.38	1.40
Troquelado (h)	2.78	2.56	2.84	2.84	2.97	3.10
Limpieza y preparación (h)	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22

Multiplicando los tiempos, por las personas requeridas para cada proceso en particular, se obtienen la cantidad de horas hombre. Tomando en cuenta el salario mínimo de Q. 2954.8/mes, que en promedio tiene 4.16 semanas (de 350 días hábiles al año para los 12 meses), las prestaciones y obligaciones laborales (41.84%) se usará para el cálculo laboral, un valor de hora hombre de Q. 22.86.

Cuadro 53. Costo de mano de obra (MO) para procesar 600 libras de maíz
(272.16kg)

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			
	Variedad	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
Nixtamalización (hh)		1.83	1.83	1.83	3.50	3.50	3.50
Molienda (hh)		2.68	2.62	2.46	2.58	2.76	2.80
Troquelado (hh)		8.33	7.69	8.51	8.51	8.90	9.29
Limpieza y preparación (hh)		9.66	9.66	9.66	9.66	9.66	9.66
Total (hh)		22.51	21.80	22.46	24.26	24.82	25.25
Costo hh (Q/hh)		22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86
Costo MO (Q)		514.47	498.45	513.47	554.54	567.31	577.19

4. **Materia prima.** La materia prima utilizada consiste en el maíz, cal y bolsas de polietileno de baja densidad utilizados. Se cuantifica el costo del material utilizado.

Se observa que las mayores diferencias entre una u otra combinación de variedad de maíz y proceso, se deben al costo de la variedad y al rendimiento de cada combinación para transformarse en tortillas. La variedad del altiplano tuvo un costo de Q. 1.60 la libra, que comparado con el costo del maíz DK 390 de Q. 1.10 la libra, inclina la balanza hacia la segunda variedad. La variedad ICTA B-9, se obtuvo a con costo intermedio de Q. 1.25 la libra.

Cuadro 54. Costo de materia prima y empaque, para la tortilla procesada

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			
	Variedad	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
Cantidad de maíz (lb)		600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00
Costo de la variedad (Q/lb)		1.25	1.60	1.10	1.25	1.60	1.10
Costo del maíz (Q)		750.00	960.00	660.00	750.00	960.00	660.00
Cal (lb)		6.00	6.00	6.00	4.20	4.20	4.20
Costo de la cal (Q/lb)		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Costo de la cal (Q)		5.4	5.4	5.4	3.78	3.78	3.78
Bolsas de polietileno (Un)		454	444	417	438	467	475
Costo de la bolsa (Q/Un)		0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225
Costo del empaque (Q)		102.07	99.91	93.75	98.54	105.07	106.81
Costo de materia prima (Q)		857.47	1065.31	759.15	852.32	1068.85	770.59

5. Costo por tortilla. Se suman los costos obtenidos en las secciones anteriores, y se dividen entre la tortilla obtenida de cada proceso. Con esto se obtiene el costo unitario de la libra de tortilla.

Cuadro 55. Costo unitario de la tortilla (Q/lb)

Proceso	Nixtamalización normal			Nixtamalización presión			
	Variedad	ICTA B 9	Altiplano	DK 390	ICTA B 9	Altiplano	DK 390
Costo de materia prima (Q)		857.47	1065.31	759.15	852.32	1068.85	770.59
Costo energía eléctrica (Q)		31.93	30.26	31.14	31.81	33.55	34.61
Costo gas (Q)		494.23	468.95	501.08	429.72	444.94	460.11
Costo mano de obra (Q)		514.47	498.45	513.47	554.54	567.31	577.19
Costo total (Q)		1898.09	2062.97	1804.83	1868.39	2114.65	1842.49
Tortilla producida (lb)		889.13	870.32	816.63	858.38	915.32	930.41
Costo unitario (Q/lb)		2.13	2.37	2.21	2.18	2.31	1.98

Se observan costos unitarios similares. La tortilla con mejor costo es la elaborada con nixtamalización a presión y la variedad DK 390.

Combinando el rendimiento de tortilla de esta variedad y la baja pérdida de sólidos se mejora el costo unitario. Es importante hacer la observación de que este análisis se realizó para poder comparar costos de ambos procesos, por lo que su alcance es limitado (no se incluyen costos de renta, depreciación de equipo, costos de mantenimiento etc).

VII. CONCLUSIONES

1. Las variedades de maíz, ICTA B-9 y DK390 estudiadas presentan mejores características de calidad para hacer tortillas, en comparación con la variedad del Altiplano.
2. El proceso de nixtamalización a presión produce tortillas más suaves, más fragmentables y de color similar en comparación con las producidas por nixtamalización tradicional, tendiendo a conservar la suavidad en el almacenamiento; para la variedad del altiplano los resultados no son conclusivos, pues para ambos procesos la tortilla es suave y fragmentable.
3. La tortilla fue igualmente aceptada, independientemente de la variedad o del proceso utilizado, a excepción de la tortilla preparada con la variedad DK 390 y proceso tradicional de nixtamalización.
4. Las tortillas producidas presentaron un costo similar sin importar el proceso y variedad de maíz, siendo la combinación DK 390 y proceso a presión, la más favorable
5. Por medio del proceso de nixtamalización a presión se pueden obtener tortillas aceptables sensorialmente, y cuyo costo es similar a la tortilla preparada con nixtamalización normal

VIII. RECOMENDACIONES

1. Este estudio fue realizado bajo los enfoques de aceptación sensorial, viabilidad de costo y textura de la tortilla, por lo que ampliarlo por medio de la caracterización del almidón durante las etapas del proceso (microscopía, análisis reológico, etc. (Shujun W, 2015)) y análisis de contenido de calcio, aportaría información para optimizar el proceso, y explicar el comportamiento de la tortilla
2. El comportamiento de la retrogradación del almidón durante el almacenamiento de la tortilla de maíz nixtamalizada a presión, ofrece la posibilidad de encontrar formas de reducir los efectos no deseados de la retrogradación en los productos derivados del maíz

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Arámbula Villa G., M. A. (2004). *Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (Zea mays L.)*. IPN, Centro de investigación y de estudios avanzados, Querétaro. Recuperado el 5 de abril de 2017, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200012
- Bedolla S, R. L. (1984). Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World*, 29(11), 732-735.
- Bileb A C, B. R. (2001). Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *ALAN*, 51(1). Recuperado el 20 de febrero de 2018, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000100012
- Bressani. (1990). Chemistry, technology, and nutritive value of maize tortillas. 40. Guatemala, Guatemala: Institute of Nutrition of Central America and Panama (INCAP). Recuperado el 15 de marzo de 2017, <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/87559129009540868>
- Bressani R. (2008). Cambios nutrimentales en el maíz inducidos por el proceso de nixtamalización. En S. S. Rodríguez García M. E., *Nixtamalización del maíz a la tortilla, Aspectos nutrimentales y toxicológicos* (págs. 19-80). Guatemala: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Campechano Carrera E. M., F. C. (2011). *New ecological nixtamalsation process for tortilla production and its impact on the chemical propierties of whole corn flour and waste water effluents*. Instituto Politécnico Nacional, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, CINVESTAV-IPN. Querétaro: International Journal of Food Science and Technology. Recuperado el 19 de marzo de 2017

Comisión nacional de energía eléctrica, Guatemala, Centro América. (11 de marzo de 2018). *Calculadora*. Obtenido de <http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/index.php>

Del Valle F. R., S. V. (1999). *STUDY OF THE POSSIBLE FORMATION OF CALCIUM CROSS-LINKS IN LIME TREATED ("NIXTAMALIZED") CORN*. New Mexico State University , Chemical Engineering and Experimental Statistics . New Mexico, Chihuahua: New Mexico State University. Recuperado el 19 de marzo de 2017

Díaz, L. (2003). *Food quality and properties of quality protein maize*. Texas: Texas A&M University. Recuperado el 02 de julio de 2017, de <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/171/etd-tamu-2003C-FSTC-Leal-1.pdf?sequence=1>

Fernandez D, W. R. (1999). Changes in Starch Properties of Corn Tortillas during Storage. *Starch*, 136-140.

Gómez M H, L. J. (1992). Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chem.*, 69(3), 275-279.

González Cortés N., S. E. (2015). *Características y propiedades del maíz (Zea mays L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Departamento de Ingeniería en Alimentos, División Académica Multidisciplinaria de Los Ríos. Tabasco: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Recuperado el 19 de marzo de 2017

Grupo Villamex. (09 de Julio de 2017). *Tortillas de maíz*. Obtenido de <http://www.villamex.mx/V-MOLINO.php>

ICTA. (27 de septiembre de 2017). *ICTA B-9 ACP*. Obtenido de [icta.gob.gt/publicaciones/Maiz/ICTA B-9 ACP](http://icta.gob.gt/publicaciones/Maiz/ICTA%20B-9%20ACP), Nueva variedad de maíz blanco con alta calidad de proteína, 2017.pdf

(2016). *Informe situación del maíz blanco*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala. Recuperado el 16 de marzo de 2017

- Kataria. (2014). Proximate nutritional evaluation of maize and rice - gluten free cereal. *IOSR Journal of Nursing and Health Science*, 6. Recuperado el 15 de abril de 2017, de <http://www.iosrjournals.org/iosr-jnhs/papers/vol3-issue2/Version-5/A03250106.pdf>
- Khan M. N., D. R. (1982). *Corn Tortillas: Evaluation of Corn Cooking Procedures*. Texas: Cereal Quality Laboratory, Dept. of Soil and Crop Sciences, Texas A&M University.
- L. W. Rooney, E. L. (Julio de 1999). Perspectives on Nixtamalization (Alkaline Cooking) of Maize for Tortillas and Snaks. (C. Q. Texas A&M University, Ed.) Texas. Recuperado el 15 de marzo de 2017, de <http://libcatalog.cimmyt.org/download/reprints/99405.pdf>
- Lusas E, R. L. (2001). *Snack foods processing*. Florida: CRC Press LLC.
- Mathias Rettig K., A. H. (2014). *El color en los alimentos un criterio de calidad medible*. Facultad de ciencias agrarias, Instituto de ciencia y tecnología de los alimentos. Valdivia: Universidad austral de Chile. Recuperado el 5 de abril de 2017, de <http://www.agrarias.uach.cl/wp-content/uploads/2016/04/art07-Mathias.pdf>
- Menchú T., M. H. (2011). *Análisis de la situación alimentaria en Guatemala*. Instituto de nutrición de centroamérica y Panamá, INCAP. Recuperado el 16 de marzo de 2017, de www.incap.int
- Méndez Albores A., M. M. (2008). Aflatoxinas en alimentos y productos nixtamalizados y alternativas de descontaminación. En S. S. Rodríguez García M. E., *Nixtamalización del maíz a la tortilla, Aspectos nutrimentales y toxicológicos* (págs. 267-288). Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Monsanto Global. (27 de septiembre de 2017). *Monsanto DEKALB Regiones*. Obtenido de monsantoglobal.com/global/Ian/productos/Documents/regions/dekalb/Sur_Web_Baja.pdf
- Moscoso, F. (2001). *Evaluación de dos métodos de diagnóstico de micotoxinas en alimentos terminados y materias primas para la alimentación de animales. (Fluorescencia y ELISA)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 2017 de abril de 2017, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/10/10_0869.pdf

- Nextamalli. (09 de julio de 2017). *Nextamalli*. Obtenido de <http://nextamalli.com/equipos/maquina-cocer-maiz-nextamalli-rc-300>
- Obregón Hernández, O. (2005). *El uso de harina minsa en sustitución del maíz contribuye a la reducción de costos de producción en los industriales de la masa y la tortilla, en la zona conurbada Veracruz, Boca del Río en el año 2004*. Universidad Veracruzana, Instituto de investigaciones y estudios superiores de las ciencias administrativas. Xalapa: Instituto de investigaciones y estudios superiores de las ciencias administrativas. Recuperado el 19 de marzo de 2017
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (mayo de 1993). *Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos*. Recuperado el 30 de Marzo de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB489S/AB489S03.htm>
- Ortiz Prudencio. (2006). *Determinación de la composición química proximal y fibra dietaria de 43 variedades criollas de maíz de 7 municipios del sureste del estado de Hidalgo*. Tesis, Universidad autónoma del estado de Hidalgo, Instituto de ciencias de la salud, área académica de nutrición, Pachuca. Recuperado el 30 de marzo de 2017, de <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10988/Determinacion%20quimica%20proximal%20y%20fibra%20dietaria.pdf?sequence=1>
- Parades López O., S. P. (1983). *Maize, a review of tortilla production technology*. Instituto Politécnico, Unidad Irapuato, CIEA. Irapuato: Bakers Digest. Recuperado el 19 de marzo de 2017
- Ramírez Navas. (2012). Análisis sensorial: Pruebas orientadas al consumidor. *Reciteia*, 12(1), 20. Recuperado el 13 de abril de 2017, de https://www.researchgate.net/profile/Juan_Ramirez-Navas/publication/257890512_Analisis_sensorial_pruebas_orientadas_al_consumidor/links/00b495260e24536e05000000.pdf
- Ramirez Wong B., S. V. (1993). *Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation*. Texas A&M University, Agricultural engineering. Texas: American Association of Cereal Chemists, Inc. Recuperado el 02 de abril de 2017

- Ramirez Wong B., S. V. (1994). *Cooking time, grinding, and moisture content effect on fresh corn masa texture*. Texas A&M University, Department of agricultural engineering. Texas: American Association of Cereal Chemists, Inc. Recuperado el 02 de abril de 2017
- Rodríguez García M. E., S. S. (2008). *Nixtamalización del maíz a la tortilla, Aspectos nutrimentales y toxicológicos*. Querétaro, Qro., México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Rojas Contreras O. L., W. F. (s.f.). Determinación de aflatoxinas en alimentos de mayor consumo infantil comercializados en la ciudad de Pamplona, Norte de Santander. *Bistua*, 12. Recuperado el 15 de abril de 2017, de:

http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_10/recursos/general/pag_cotenido/publicaciones/bistua_revista_ciencias_basica/2009/23022010/art_15.pdf
- Romer Labs. (19 de abril de 2017). *Aflatoxin testing solutions for lab and on-site aflatoxin detection*. Obtenido de www.romerlabs.com/en/analytes/mycotoxins/aflatoxin-testing/
- Salinas Moreno Y, A. M. (2010). *Efecto de la dureza del grano de maíz (Zea mays L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla*. Instituto nacional de investigaciones forestales, Laboratorio de maíz, Chapingo.
- Salinas Moreno Y, G. M. (2010). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4), 509-523.
- Secretaría de economía, Estados Unidos Mexicanos. (2002). NMX-FF-034/1-SCFI-2002, Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereales - parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado - especificaciones y métodos de prueba. (S. d. Economía, Ed.) México. Recuperado el 20 de marzo de 2017
- Semilla Nueva. (27 de septiembre de 2017). *We're Growing Possible*. Obtenido de semillanueva.org
- Serna Saldivar S. O., G. M. (1993). *A method to evaluate the lime cooking properties of corn (Zea mays)*. Texas A&M University, Cereal quality laboratory, department of soil and crop sciences. Texas: American Association of Cereal Chemists, Inc. Recuperado el 04 de febrero de 2017

Serna Saldivar, A. D. (1991). Method to Evaluate Ease of Pericarp Removal on Lime-Cooked Corn Kernels. *Crop Science*, 31, 842-844.

doi:doi:10.2135/cropsci1991.0011183X003100030059x

Shujun W, C. L. (2015). Starch retrogradation: a comprehensive review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 14, 568-585. doi:10.1111/1541-4337.12143

Vásquez Carrillo G, M. A. (2013). Efecto de la densidad de población en la calidad del grano, nixtamal y tortilla de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 36(3), 225-232.